

УДК 551.345:912.43

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕРЗЛОТНО-ЛАНДШАФТНОМ АНАЛИЗЕ ОСВАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Шестакова А.А., Торговкин Я.И.*ФГБУН «Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова» СО РАН,
Якутск, e-mail: aashest@mail.ru, torgovkin@mpi.ysn.ru*

Впервые получена количественная характеристика геокриологических условий, сложившихся в ряде осваиваемых территорий в пределах Якутии – железной дороги (участок «Томмот – Кердем»), каскада Тимптонской ГЭС, нефтегазоносного месторождения «Ванкорское» и участков подтопления на р. Алазее. На основании первичных материалов полевых мерзлотно-ландшафтных исследований, выполненных в течение ряда лет, и анализа фондовых материалов составлена серия крупномасштабных (1:25 000) и среднемасштабных (1:200 000) мерзлотно-ландшафтных карт различного уровня детальности, содержащих базу данных по структуре компонентов природно-территориальных комплексов (ПТК). Выявлена пространственная дифференциация мерзлотных ландшафтов и их составляющих на уровне типов урочищ, типов ландшафтов и местностей по мерзлотным критериям – температуре, льдистости, влажности и мощности сезонно-талого слоя грунтов.

Ключевые слова: мерзлотный ландшафт, пространственная дифференциация, ГИС, природно-территориальный комплекс, криоиндикационные связи, температура грунтов, мощность сезонно-талого слоя, льдистость грунтов, карст, влажность грунтов

USE OF GIS TECHNOLOGIES IN PERMAFROST LANDSCAPE ANALYSIS OF DEVELOPMENT AREAS

Shestakova A.A., Torgovkin Ya.I.*P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, e-mail: aashest@mail.ru, torgovkin@mpi.ysn.ru*

This study provides the first quantitative characteristics of permafrost conditions in several areas of Yakutia affected by human activities, including the Tommot-Kerdeg railway, Timpton hydropower plants, Vankor oil and gas fields and flood-prone areas along the Alazeya River. Based on primary materials of field permafrost-landscape studies carried out over a number of years and analysis of earlier observations, a series of large – (1:25,000) and medium-scale (1:200,000) permafrost-landscape maps were compiled at different levels of detail. These maps contain a database on the structure of the components of natural-territorial complexes. The GIS analysis indicates spatial differentiation in ground temperature, ice content, moisture content, and active layer thickness for different landscape units identified in the study area.

Keywords: permafrost landscape, spatial differentiation, GIS, natural-territorial complex, permafrost indicators, ground temperature, active layer thickness, ice content, karst, moisture content

Применение геоинформационных технологий (ГИС) открывает новые возможности не только в проведении пространственно-временного анализа современных процессов и явлений, но и при использовании традиционных методов исследований, в частности, ландшафтной индикации мерзлотных условий. Результаты ландшафтно-криоиндикационных исследований весьма эффективны при использовании ГИС-технологий в мерзлотоведении и в первую очередь в цифровом картографировании с применением атрибутивных данных слоя карт [5].

Основная цель исследований – проведение мерзлотно-ландшафтной оценки осваиваемых территорий и выявление закономерностей их пространственной дифференциации. В статье рассмотрены следующие объекты: железная дорога (участок Томмот – Кердем), каскад Тим-

птонской ГЭС, нефтегазоносное месторождение «Ванкорское» и участки подтопления на р. Алазее.

Материалы и методы исследований

Были использованы программы: ArcGIS 10.1, ArcView GIS 3.2a, Google Earth, GPS TrackMaker, OziExplorer и следующие материалы: топографические карты масштаба 1:200 000, послужившие основой, мерзлотно-ландшафтная карта Якутии масштаба 1:2 500 000, аэроснимки и космоснимки Landsat. Выполнение поставленной цели осуществлялось с использованием следующих методов: комплекса полевых исследований, который включает изучение состава, влажности, льдистости СТС и верхних горизонтов ММП; дистанционных методов (дешифрирования аэрофотоснимков); ГИС-картографирования; использования методов создания баз геоданных на основе ArcGIS. В основе классификационных построений лежит разработанная А.Н. Фёдоровым в Институте мерзлотоведения СО РАН методика картографирования мерзлотных ландшафтов [4]. При этой разработке была использована известная таксономическая схема Ф.Н. Милькова [3].

Результаты исследований и их обсуждение

1. *Железная дорога (участок Томмот – Кердем).* Ландшафтные исследования были проведены в 2005–2006 гг. экспедицией Института мерзлотоведения СО РАН. В качестве ландшафтной основы нами была принята мерзлотно-ландшафтная карта проектируемой железной дороги Томмот – Кердем масштаба 1:25 000, составленная в Институте мерзлотоведения СО РАН. Эта карта представляет собой сочетание типов местности и типов (подтипов и родов) ландшафтов. Всего на карте выделены 21 тип (подтип) местности и 35 растительных сообществ, а также возрастные стадии их восстановления на гарях и антропогенная (рудеральная) растительность.

На участке Томмот-Кердем было изучено 4 физико-географических района с юга на север: Приалданский ступенчато-останцовый (376–408 км), Лено-Алданский увалисто-водораздельный (408–531 км), Лено-Амгинский известняково-карстовый (531–628 км) и Лено-Алданский песчаниковый район (628–704 км) [1].

К каждому физико-географическому району прилагается кадастр мерзлотно-ландшафтных условий. В кадастре даны все ландшафтные сочетания, выделенные на карте, отражены криоиндикационные связи в типах урочищ – рельеф, литологический состав отложений, растительность, криогенное строение, температура горных пород, мощность СТС и СМС, мерзлотно-геологические процессы.

В Приалданском ступенчато-останцовом районе смешанные елово-сосново-лиственничные разнотравно-брусничные леса с примесью березы, осины и кедра являются наиболее характерными. Температуры горных пород положительные, мощность СМС составляет 3–3,5 м. Положительные температуры грунтов можно объяснить тем, что исследуемый район находится южнее, чем все остальные. В связи с этим увеличение сумм количества солнечной радиации и атмосферных осадков обуславливает на дренированных плакорах и теплых склонах распространение талых пород, а развитие мерзлых толщ отмечается лишь на затененных ПТК – в нижних частях склонов северной экспозиции и в днищах мелких долин.

Наиболее распространены в Лено-Алданском увалисто-водораздельном районе урочища с сосновыми и лиственнично-сосновыми лесами с брусничным покровом. Температура горных пород составляет –0,5...–1,5 °C и мощность СТС 2,5–3,5 м.

Лено-Амгинский известняково-карстовый район отличается интенсивным проявлением повсеместного как поверхностного, так и глубинного мерзлотного карста. Преобладают елово-лиственничные леса мохово-брусничные на очень пологих склонах с температурой горных пород от –2 до –3 °C и мощностью СТС от 1 до 1,5 м.

Лено-Алданский песчаниковый район характеризуется лиственничными лесами голубично-брусничными на очень пологих склонах с температурой грунтов от –2 до –3 °C и мощностью СТС 1–1,5 м. Эти леса занимают около трети территории района.

Основные характеристики многолетне-мерзлых пород по 4 районам исследований приведены в табл. 1.

При картографировании с использованием ГИС получена модель ландшафтной основы с тематическими цифровыми картами (рис. 1).

2. *Каскад Тимптонской ГЭС.* Работы проводились экспедицией Института мерзлотоведения СО РАН в 2006 г. на р. Тимптон по проектируемым водохранилищам ГЭС. Исследования проводились по трем створам: Иджекскому, Канкунскому и Нижне-Тимптонскому. Всего было классифицировано 6 типов местности – плакорный, крутосклонный, среднесклонный, пологосклонный, склоновый ложбинный и мелкодолинный, а также 9 типов ландшафтов. Анализ карты типов местности показывает, что ареалы типов местности достаточно обширны. Поэтому карта типов местности бассейна р. Тимптон выглядит достаточно пестрой (рис. 2). Всего на карте отражены 413 объектов, имеющих отдельные контуры.

Значительные территории заняты плакорным (25 % от общей площади), пологосклонным (31 %) и среднесклонным (30 %) типами местности. Ландшафты на многолетнемерзлых породах занимают 15 % рассматриваемой территории. Ландшафты с сезонно-промерзающими грунтами занимают 85 % территории. По криогенной текстуре и льдистости поверхностных отложений мерзлотные ландшафты можно оценить следующим образом: с массивной и корковой криогенной текстурой занимают 3 %, линзовидной и корковой – 5 %, линзовидно-слоистой, атакситовой и поясковой – 7 % рассматриваемой территории. Значения СТС-СМС дают следующее распределение (% общей площади): СМС 2–3 м – 85, СТС 0,5–1,0 м – 7, СТС 1,0–1,5 м – 5 и СТС 1,5–2,5 м – 3. Развитие экзогенных

мерзлотно-геологических процессов (% общей площади территории): карст – 12; сочетание карста и эрозии – 32; эрозии и плоскостно-

го смыва – 44; морозобойного растрескивания, эрозии и солифлюкции – 9; морозобойного растрескивания, пучения и термокарста – 3.

Таблица 1

Основные характеристики ММП

Район	Характерные типы урочищ	Криогенная текстура; объемная льдистость, %	Температура горных пород на глубине 10–15 м, °С	Мощность СТС/СМС, м	Экзогенные мерзлотно-геологические процессы
1. Приалданский ступенчато-останцовый	Смешанные елово-сосново-лиственничные леса с примесью березы, осины и кедра разнотравно-брусничные	–	До +1	СМС 3,0–3,5	Локальные карстовые просадки, эрозия, плоскостной смыл
2. Лено-Алданский увалисто-водораздельный	Сосновые и лиственнично-сосновые брусничные леса	Массивная линзовидная, корковая; 20–30	–0,5...–1,5	СТС 2,5–3,5	Локальные карстовые просадки, эрозия, обвалы
3. Лено-Амгинский известняково-карстовый	Елово-лиственничные леса мохово-брусничные	Массивная линзовидная, слоистая; 30–40	–2...–3	СТС 1,0–1,5	Морозоб. растрескивание, солифлюкция, эрозия
4. Лено-Амгинский песчаниковый	Лиственничные леса голубично-брусничные	Массивная линзовидная, слоистая; 30–40	–2...–3	СТС 1,0–1,5	Морозоб. растрескивание, солифлюкция, эрозия

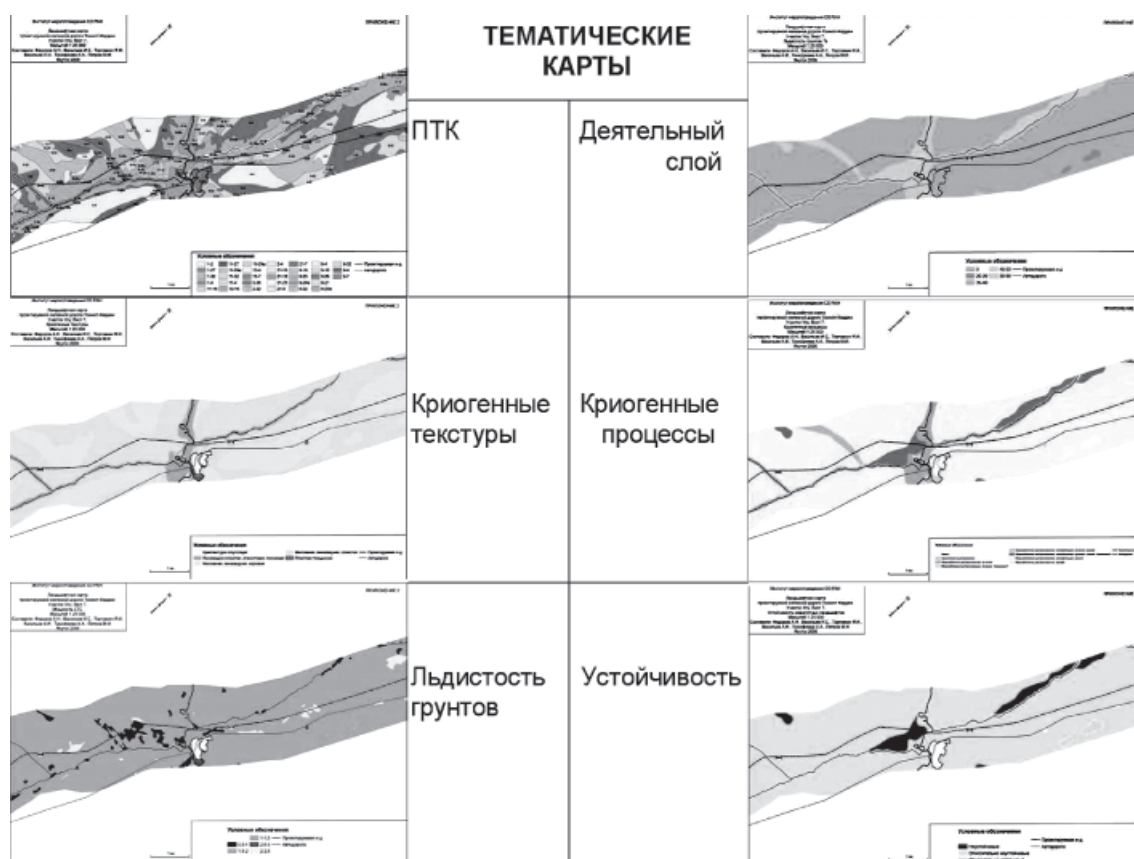


Рис. 1. Тематические карты железной дороги Томмот – Кердем (участок Улу)

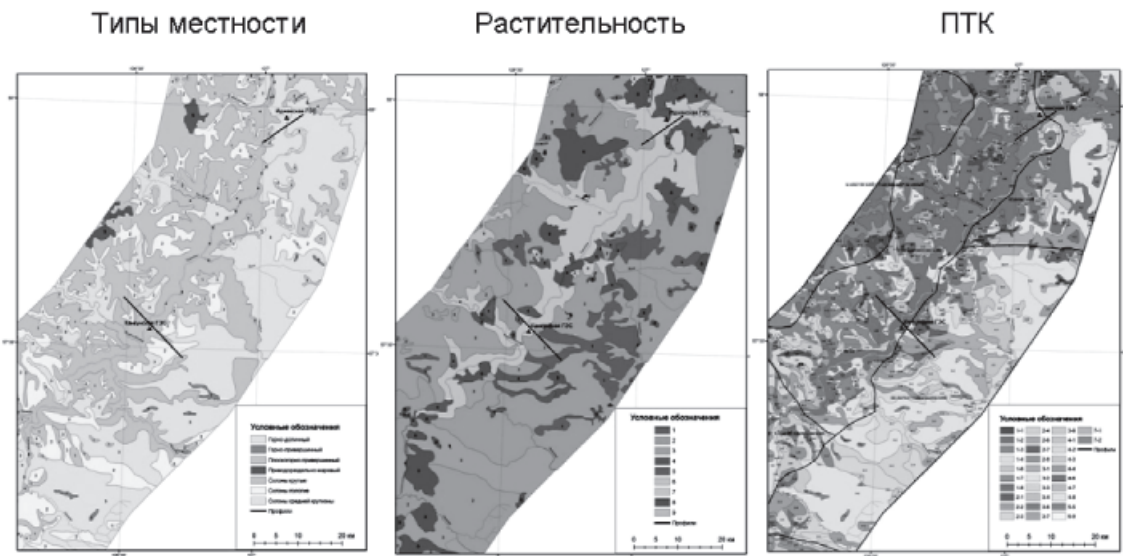


Рис. 2. Фрагменты карты типов местности, растительности и ПТК бассейна р. Тимптон

3. *Нефтегазоносное месторождение «Ванкорское».* На рассматриваемой территории преобладают супеси, суглинки, пески (79 %, или 293,6 км²). На значительных территориях влажность грунтов от 0,2 до 0,3 лежит в пределах 79 % общей территории. На достаточно больших площадях влажность грунтов 0,3–0,4 (11 %). Грунты со значениями 0,4–0,5 – 2 %, больше 0,5–1,7 % менее представлены. По всей картируемой территории на большей площади преобладают грунты со значением температуры –0,5...–1 и –1,5...–2 °C (56 и 27 % соответственно) (рис. 3). На остальной территории распространены грунты с температурами –1...–1,5 °C (3 %), –2...–2,5 °C (2 %) и 0...+1 °C (1 %). Распределение СТС-СМС по значениям (% всей рассматриваемой территории): СТС 0,6–0,8 м и 0,8–1,0 м – 45 и 37 соответственно. СТС 1,0–1,2 м – 6, СТС 1,2–1,4 м – 4 и СТС 0,4–0,6 м – 1. Сезонное промерзание 1,4 % всей рассматриваемой территории. Процессы морозобойного растрескивания, образования пятен-медальонов интенсивно развиты на всей территории (58 % или 214,01 км²). Наиболее интенсивны эрозия плоскостная и линейная (11 %), морозобойное растрескивание и термокарст (9 %). На незначительных площадях отмечаются пучение (1,3 %) и солифлюкция (1 %).

4. В 2009 г. экспедицией Института мерзлотоведения СО РАН велись мерзлотно-ландшафтные и геокриологические исследования на р. Алазее на трех участках – Сватай, Аргахтах-Ойусардах

и Андриюшкино [2]. Составлены карты типов местности и серии тематических карт (рис. 4).

На участке *Сватай* распределение типов местности в пространственном отношении следующее. На значительных территориях преобладают межаласный и аласный типы местности (39 и 24 % общей территории соответственно). Надпойменный тип местности занимает 18 %, а мелкодолинный – 4 %. Повсеместно распространены грунты с температурами –4...–6 и –5...–7 °C (39 и 45 % соответственно). Грунты с льдистостью 0,4–0,6 занимают 45 %, с льдистостью 0,6–0,8 – 39 % общей площади. Минимальные значения влажности грунтов СТС (30–40 %) характерны для 39 % территории, максимальные (от 40 до 50 %) – 45 % территории. Значения мощности СТС от 0,4 до 0,5 м характерны для грунтов на 39 %. Типы местности со значениями мощности СТС от 0,6 до 0,7 м занимают 24 %, а с максимальными значениями от 0,7 до 0,8 м – 21 % рассматриваемой площади. Из криогенных процессов на межаласье наблюдается термокарст (39 %). Морозное растрескивание развито на 27 % всей территории исследуемого участка.

Участок Аргахтах-Ойусардах. Распределение типов местности здесь такое: 35 % заняты межаласьем; 29 % – аласами; 11 % – долинно-аласными; 5 % – мелкодолинными комплексами. Распределение температуры, льдистости, влажности грунтов, мощности СТС и криогенных процессов в пространственном отношении следующее. Грунты с температурами –5...–7 °C, льдистостью

0,4–0,6 и влажностью 40–50% составляют 45%. Грунты с температурами от –4 до –6°C, льдистостью 0,6–0,8 и влажностью 30–40 занимают на 34% территории. Распределение грунтов со значениями мощно-

сти СТС следующее: 0,4–0,5 м – 35%, 0,6–0,7 м – 29% и 0,7–0,8 м – 16%. На большей части рассматриваемого участка развиты процессы морозобойного растрескивания и термокарста (69%).

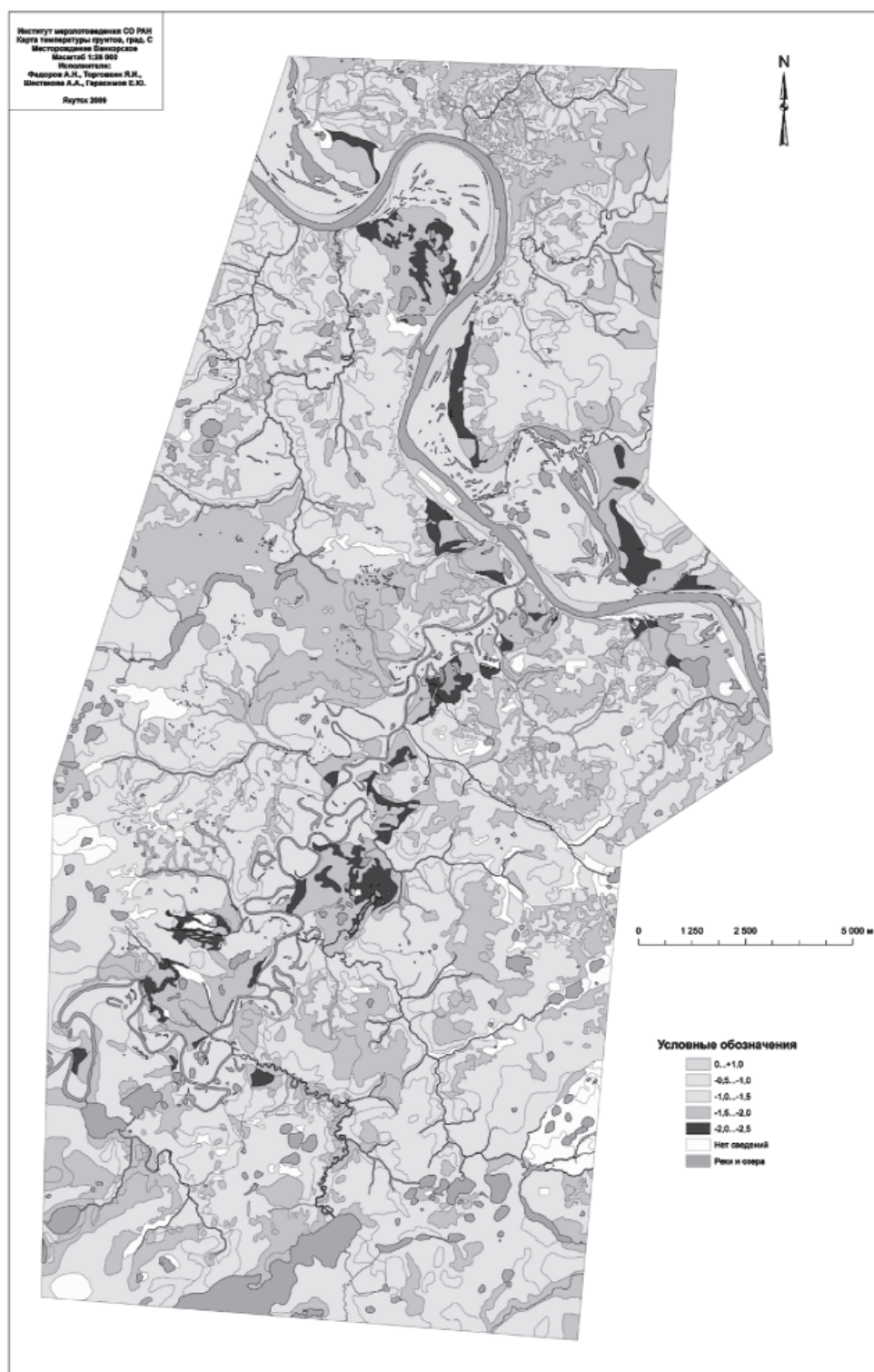


Рис. 3. Карта температуры грунтов Ванкорского месторождения нефти

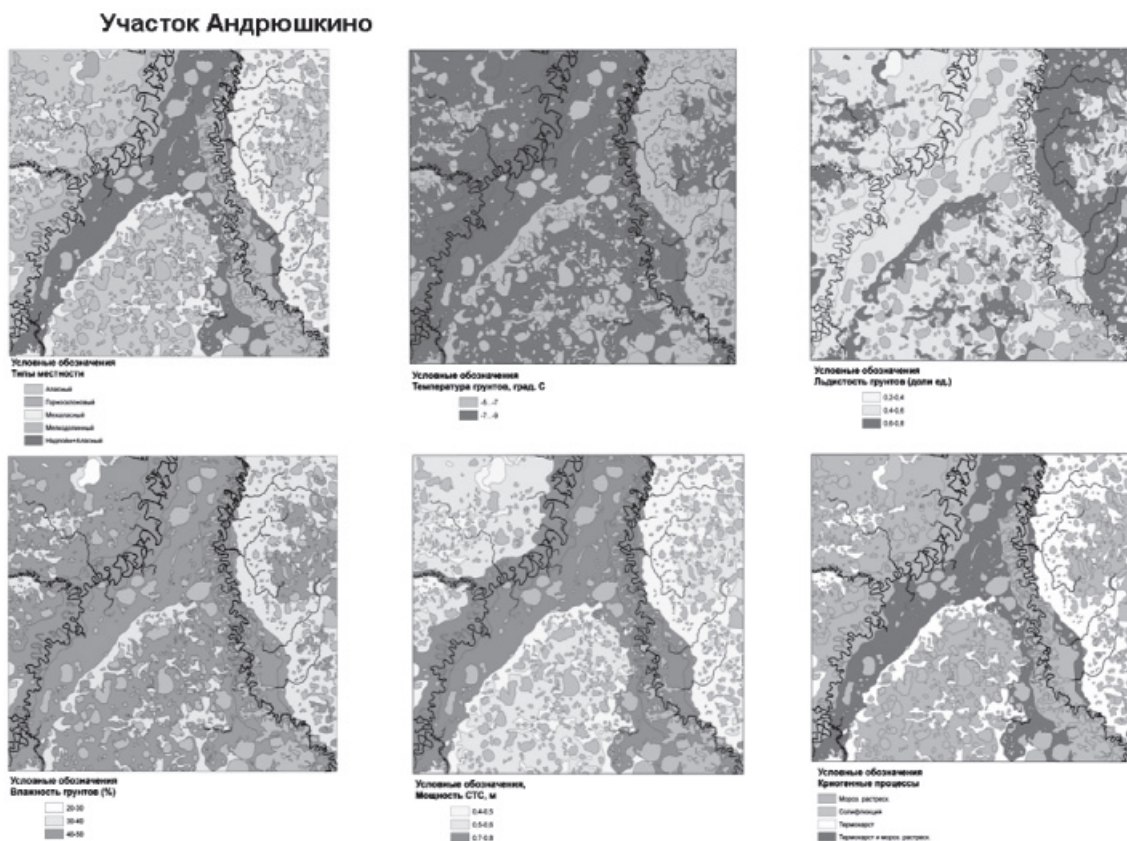


Рис. 4. Серии тематических карт на примере участка Андриюшкино

Таблица 2

Пространственное распределение типов местности и мерзлотных характеристик с учетом площади водных объектов (участок Андриюшкино)

Типы местности	Кол-во	Площадь (ед. оцифр.)	Процент от всей площади
1	2	3	4
Гидрография	206	428874855,5	10,15
Аласный	27	1226072808	29,01
Горносклоновый	1	17618476	0,42
Межаласный	60	993777210,9	23,52
Мелкодолинный	29	783780028,9	18,55
Надпойменный + Аласный	27	775852227,4	18,36
ВСЕГО		4225975607	100
Температура грунтов, °С			
Гидрография	260	428874855,5	10,15
-5...-7	60	993777210,9	23,52
-7...-9	84	2803323540	66,34
ВСЕГО		4225975607	100
Льдистость			
Гидрография	260	428874855,5	10,15
0,2-0,4	1	17618476	0,42
0,4-0,6	83	2785705064	65,92
0,6-0,8	60	993777210,9	23,52
ВСЕГО		4225975607	100
Влажность			
Гидрография	260	428874855,5	10,15
20-30	1	17618476	0,42

Окончание табл. 2

1	2	3	4
30–40	60	993777210,9	23,52
40–50	83	2785705064	65,92
ВСЕГО		4225975607	100
Мощность СТС, м			
Гидрография	260	428874855,5	10,15
0,4–0,5	6	1011395687	23,93
0,5–0,6	27	1226072808	29,01
0,7–0,8	5	1559632256	36,91
ВСЕГО		4225975607	100
Криогенные процессы			
Гидрография	206	428874855,5	10,15
Морозобойное растрескивание	56	2009852837	47,56
Солифлюкция	1	17618476	0,42
Термокарст	60	993777210,9	23,52
Термокарст и морозобойное растрескивание	27	775852227,4	18,36
ВСЕГО		4225975607	100

Примерно треть исследуемого участка *Андрюшкино* занята аласным типом местности (29%). На межаласный, мелкодолинный, надпойменный и аласный, горносклоновый типы местности приходится – 24, 19, 18 и около 1% соответственно (табл. 2). Грунты с температурами $-7...-9^{\circ}\text{C}$ наиболее распространены по площади (66%). Грунты с температурами $-5...-7^{\circ}\text{C}$ занимают 23%. Лыдность грунтов распределяется таким образом: 0,4–0,6 – 66%; 0,6–0,8 – 24%; 0,2–0,4 – около 1%. Преобладают грунты с влажностью 40–50% (65% территории); 30–40% составляют 23%, и лишь 0,4% территории занимают грунты с показателями влажности от 20 до 30%. Наиболее распространены грунты с мощностью СТС 0,7–0,8 и 0,5–0,6 м – 37 и 29% соответственно. Грунты, протаивающие на 0,4–0,5 м, занимают 24% общей площади. Как и на участке Аргахта-Ойусардах, наиболее развиты морозобойное растрескивание и термокарст, составляющие 48 и 23%. На всем участке исследований наименее наблюдаемыми являются процессы солифлюкции.

Заключение

Использование геоинформационных технологий (ГИС) позволило оценить пространственную дифференциацию мерзлотных ландшафтов и их составляющих

на уровне типов урочищ, типов ландшафтов и местностей по мерзлотным критериям – температуре, лыдности, влажности и мощности сезонно-талого слоя грунтов.

Проведенные работы раскрывают содержание мерзлотных ландшафтов и структуру отдельных физико-географических районов, что позволит более детально изучить степень изменчивости ландшафтов в ходе строительства и оценить устойчивость ландшафтов в период эксплуатации.

Список литературы

1. Босиков Н.П., Васильев И.С., Федоров А.Н. Мерзлотные ландшафты зоны освоения Лено-Алданского междуречья. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО АН СССР, 1985. – 124 с.
2. Готовцев С.П. Деградация ледового комплекса и ее роль в формировании гидрологического режима северных рек // География и природные ресурсы. – 2015. – № 4. – С. 107–111.
3. Мильков Ф.Н. Ландшафтная сфера Земли. – М.: Мысль, 1970. – 207 с.
4. Федоров А.Н. Мерзлотные ландшафты Якутии: методика выделения и вопросы картографирования. – Якутск: Институт мерзлотоведения СО АН СССР, 1991. – 140 с.
5. Шестакова А.А. Ландшафтная индикация многолетнемерзлых пород и составление картографических моделей для оценки устойчивости мерзлотных ландшафтов с применением ГИС // Проблемы территориальной организации природы и общества: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения доктора географических наук, профессора Юрия Петровича Михайлова, г. Иркутск, 30 октября – 1 ноября 2012. – С. 329–331.