НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
КРИОСФЕРА ЗЕМЛИ
Криосфера Земли, 2007, т. XI, № 1, с. 85–95 **http://www.izdatgeo.ru**

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 528.94:551.34(571.122)

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ МЕРЗЛОТНЫХ КАРТ СРЕДСТВАМИ ГИС-АНАЛИЗА

Н.А. Королева

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический ф-т, 119992, Москва, Воробьевы горы, Россия, nkor65@mail.ru

При составлении цифровых мерзлотных ГИС-карт предлагается проводить пространственный анализ мерзлотно-ландшафтных условий формирования картографируемого параметра и включать его результаты в виде диаграмм и таблиц взаимосвязей в легенду карты. На примере трех региональных карт “Распространение и температура многолетнемерзлых и талых пород”, “Сезонное промерзание и протаивание грунтов”, “Потенциальная мерзлотная устойчивость ландшафтов к антропогенным воздействиям” Атласа Ханты-Мансийского автономного округа показано, какую новую информацию можно в этом случае извлечь, читая карту. В легендах карт отображены закономерности пространственного распределения значений мерзлотного параметра. Дана последовательность определения его типичных значений.

ГИС-карты, пространственный анализ, мерзлотное картографирование, мерзлотно-ландшафтная дифференциация, Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры

THE INCREASE IN THE INFORMATION CONTENT OF PERMAFROST MAPS BY MEANS OF GIS-ANALYSIS

N.A. Koroleva

Lomonosov Moscow State University, Department of Geography, 119992, Moscow, Vorobyovy Gory, Russia, nkor65@mail.ru

At drawing up digital permafrost GIS-maps it is offered to carry out the spatial analysis of permafrost-landscape conditions of formation of mapping parameter and to include its results as the diagrams and tables of interrelations in the map legend. By the example of three regional maps “Distribution and temperature of permafrost and thawed ground”, “Seasonal freezing and thawing grounds”, “Potential permafrost stability of landscapes to anthropogenous influences “is shown what new information can be benefited by reading the map. In the legends of the maps the regularities of spatial distribution of permafrost parameter values are shown. The sequence of determination of its typical values is given.

GIS-maps, spatial analysis, permafrost-landscape differentiation, permafrost mapping, Khanty-Mansiysk autonomous district atlas

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность изучения многолетнемерзлых пород (ММП) в пространстве и во времени возрастает в связи с интенсивным освоением природных ресурсов Севера и новыми проявлениями изменения климата. Проблемы криолитозоны охватывают все больший круг специалистов (ландшафтоведов, экологов, почвоведов и др.). Анализ специальных мерзлотных мелкомасштабных карт приобретает первостепенное значение. В то же время прогресс геоинформационного картографирования предоставляет большие возможности для всестороннего комплексного анализа криолитозоны как объекта географической оболочки.

При традиционном построении легенд мерзлотных карт дается перечень значений того или иного показателя (температура, мощность, льдистость ММП). Его взаимосвязь с другой характеристикой мерзлоты (чаще всего, это распространение мерзлоты по площади) без изображения на карте нередко отражается в легенде путем построения таблицы-матрицы. На Циркумарктической карте многолетнемерзлых пород и грунтовых льдов [*Circum-arctic..., 1997*] льдистость пород показана во взаимосвязи с распространением ММП, в легенде Геокриологической карты СССР [*1997*] температуры пород сочетаются с характером распростра-

© Н.А. Королева, 2007

нения ММП и типом сезонного промерзания (оттаивания). Отражение большего количества взаимосвязей используется на типологических картах, где тип ММП выделяется на основе сочетания ряда показателей, например, на картах мерзлоты в Атласе Тюменской области [*1971*]. На картах районирования территория подразделяется по совокупности нескольких характеристик [*Гарагуля и др., 2001*]. При этом утрачивается география распространения мерзлотного показателя (температура, мощность, льдистость, глубина сезонного промерзания и протаивания), часто имеющего большое значение как индикатор мерзлотных явлений в криолитозоне. На комплексных мерзлотных картах приводится раздельное изображение элементов мерзлоты [*Геокриологическая..., 1977, 1997*], их взаимосвязи пользователю карты приходится выявлять самостоятельно.

Методы ГИС-картографирования позволяют провести ГИС-анализ картографируемых показателей и представить его результаты в виде таблицы и диаграммы в легенде карты. Таблица моделирует единое мерзлотно-ландшафтное пространство территории, является дополнительной интерпретацией содержания карты, помогает анализировать особенности распространения той или иной мерзлотной характеристики, устанавливать взаимосвязи, закономерности и таким образом получать новые знания, а также выявлять возможные ошибки составления содержания карты. Диаграмма отражает структуру территории (соответственно традиционной форме легенды) и количественное соотношение площадей выделов с тем или иным значением картографируемого показателя.

Предложенный способ повышения информативности карт посредством представления в легенде диаграммы и таблицы обобщенных данных ГИС-анализа был частично использован при составлении ряда мелкомасштабных карт Атласа Ханты-Мансийского автономного округа [*2004*].

КАРТА *“РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ И ТАЛЫХ ПОРОД”*

На территории Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) почти повсеместно вечная мерзлота существует в окружении талых пород. Картографирование на ландшафтной основе позволяет дифференцировать территории с разным соотношением мерзлых и талых пород в пределах каждого ландшафтного контура, а также ландшафты, где мерзлых пород нет. Штриховками разного рисунка и контраста выделены пять типов распространения ММП (сплошное, прерывистое, массивно-островное, островное и редкоостровное). Среднегодовая температура талых и мерзлых пород показана на карте цветным фоном в пределах ландшафтных контуров. Для тех выделов, где мерзлые породы сосуществуют с талыми, в легенде карты температура пород записана дробью (в числителе – температура мерзлоты, в знаменателе – температура талых пород). Традиционная форма легенды представлена на рис. 1.

Поскольку карта составлена с использованием ГИС-технологий, комплексный анализ ряда тематических слоев (“ландшафты”, “распространение ММП”, “температура”, “состав пород”) позволяет дополнительно составить диаграммы распределения площадей по типам распространения мерзлых и талых пород (рис. 2,*а*), по температурам пород (рис. 2,*б*) и таблицу мерзлотно-ландшафтных условий формирования среднегодовых температур пород (табл. 1).

Из первой диаграммы (см. рис. 2,*а*) следует, что на территории ХМАО преобладают талые породы и редкоостровная мерзлота. На рис. 2,*б* видно, что в значениях температуры резко доминируют по площади территории с температурой (°С): на равнинах – 0...–0,5/0...1 (27 %), –0,5/0...0,5, 0,5...1,0 (16 %), в горах – 0...–1/1...2 (1 %), –2...–3/1...2 (1 %).

В табл. 1 отображены географические связи мерзлотных условий с ландшафтной структурой региона. Наибольшее влияние на региональную температуру оказывают растительность и состав пород. Взаимосвязь этих характеристик с рельефом, гидроморфностью поверхности и влажностью грунтов, климатическими характеристиками исчерпывает в мерзлотном отношении понимание условий возникновения того или иного типа мерзлоты, а также температуры мерзлых и талых пород.

Сплошное распространение мерзлоты встречается только в горах Урала, здесь самые низкие температуры пород (ниже –5 °С в высоких и средних горах, –4...–5 °С в средних и низких). *Прерывистые* ММП распространены только в плоскобугристых торфяниках северной тайги (температура мерзлых участков 0...–1 °С, талых 0...0,5 °С) и на остальной территории Урала, включающей низкогорья, предгорья, межгорные котловины, долины. В горах температура мерзлых пород понижается с высотой от 0...–1 до –2...–3 °С. *Массивно-островная* мерзлота характерна для северной тайги. Мерзлые породы представлены торфом (температура от 0...–0,5 до 0...–1 °С в зависимости от гидроморфности) и суглинками (0...–0,5 °С), талые – песками и суглинками (0...1 °С). *Островная* мерзлота приурочена к торфу в северной и средней тайге (0...–0,5, 0...–1 °С) и суглинкам в северной тайге (0...1 °С). *Редкоостровная* мерзлота присутствует только в торфе в средней тайге (0...–0,5 °С). Талые породы сложены в северной тайге песками (0,5...1,0 °С), в средней тайге – песками и суглинками (температура варьирует в пределах от 0 до 2 °С), в южной тайге – торфом (0...1 °С) и суглинками (выше 2 °С).

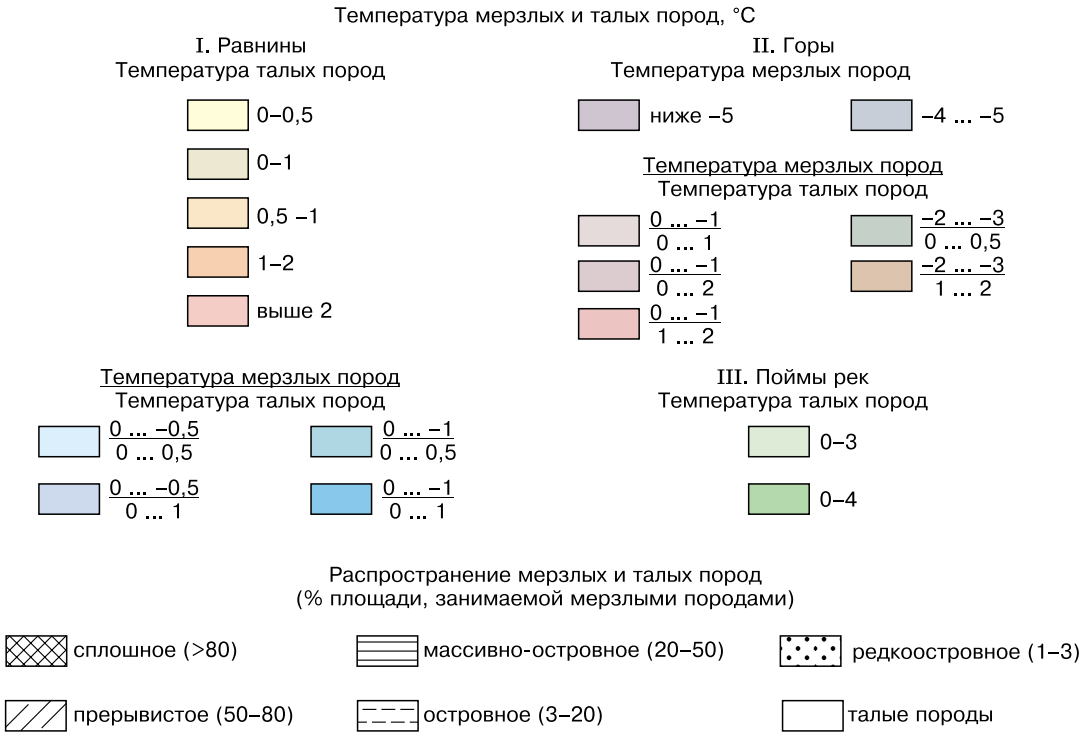

Рис. 1. Легенда карты “Распространение и температура многолетнемерзлых и талых пород”.

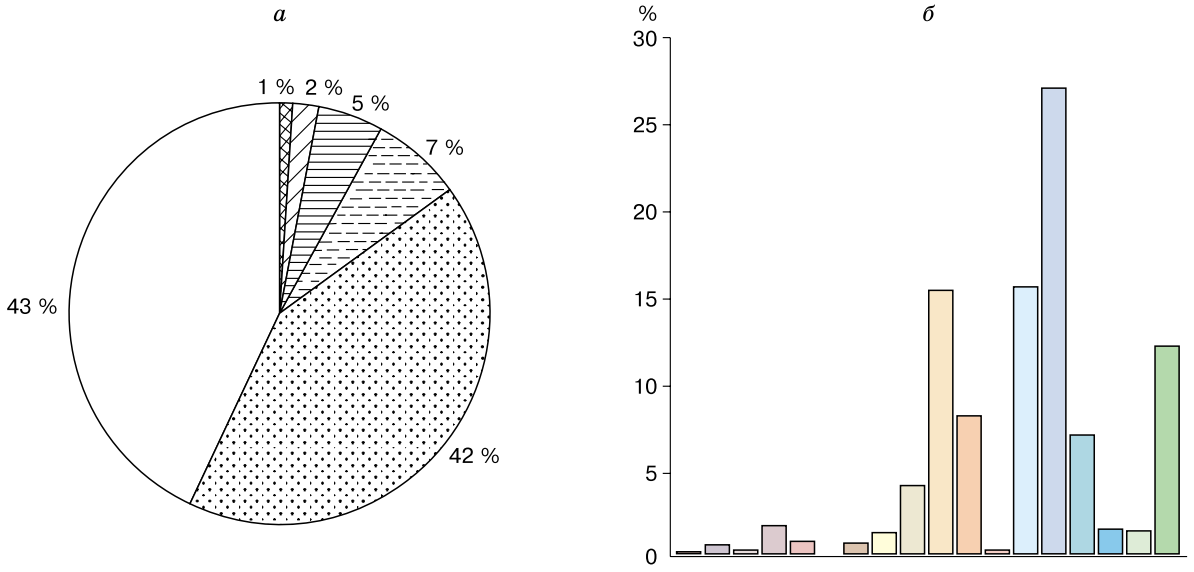

Рис. 2. Диаграммы распределения площадей по типам распространения мерзлых и талых пород (*а*), по температурам пород (*б*).

Таблица 1. **Мерзлотно-ландшафтные условия формирования среднегодовых температур пород**

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СРЕДНЕГОДОВЫХ ТЕМПЕРАТУР МЕРЗЛЫХ И ТАЛЫХ ПОРОД (°С)

Распространение многолетнемерзлых пород	Равнины															Горы				
	Северная тайга						Средняя тайга					Южная тайга		Поймы		высокие и средние	средние и низкие	низкие и предгорья	межгорные котловины	долины
	Литологический состав пород (мерзлых/талых)													крупных рек	малых рек					
	торф	суглинок	песок	суглинок / песок	торф / песок	торф / суглинок	торф / суглинок	торф / песок	торф	суглинок	песок	торф	суглинок	пестрый состав пород						
Сплошное																ниже –5	–4...–5			
Прерывистое	**0...–1 / 0...0,5**																	**–2...–3 / 1...2**	**0...–1 / 1...2**	0...–1 / 0...2
Массивно-островное		0...–0,5 / 0...1		0...–0,5 / 0...1	0...–1 / 0...1	0...–0,5 / 0...1								– / 0...4	– / 0...3			**0...1 / 1...2**		
Островное					0...–0,5 / 0...1	0...–1 / 0...0,5	0...–1 / 0...0,5	**0...–0,5 / 0...1**	**0...–0,5 / 0...0,5**											
Редко-островное							**0...–0,5 / 0...1**													
Талые породы			– / 0,5...1						– / 0...0,5	– / 0...1 **– / 0,5...1** – / 1...2	– / 0...1 **– / 0,5...1** – / 1...2	– / 0...1	– / выше 2							

Примечание. Выделены преобладающие по площади значения. В числителе – температура мерзлых пород, в знаменателе – температура талых пород.

Мерзлые породы отсутствуют в поймах рек, где из-за отепляющего влияния аллювиальных вод температура пород может достигать 3...4 °С. При этом поймы крупных рек отличаются большим разнообразием ландшафтных условий, литологического состава пород, протяженностью с севера на юг. Диапазон изменения температур в них шире, чем в поймах малых рек.

Совместный анализ диаграммы площадей пород с разными температурами, таблицы и карты позволяет выделить цветом в таблице типичные диапазоны температур. Причем в таблице диапазон 0...–0,5/0...1 чаще повторяется в северной тайге на массивно-островных и островных ММП. На карте видно, что общая площадь этих выделов невелика, а основная часть их сосредоточена в средней тайге на редкоостровных ММП (выделяем в таблице как типичный).

Следует отметить, что результаты ГИС-анализа необходимо проверять по карте. "Голая" статистика из-за недоучета каких-либо условий, особенностей логико-математических вычислений программы и прочего может привести к ложным выводам.

Определение типичных значений мерзлотного параметра для картографируемой территории по данным ГИС-анализа проводилось в такой последовательности: 1) анализ диаграммы распределения площадей (выбор доминирующих по площади значений картографируемого параметра); 2) анализ таблицы взаимосвязей мерзлотно-ландшафтных условий (находим выбранные значения); 3) анализ карты (визуально определяем, в каких мерзлотно-ландшафтных условиях выбранные значения доминируют по площади); 4) отмечаем их в таблице как типичные.

В целом анализ взаимосвязей с помощью диаграмм и сводной таблицы позволяет любому пользователю сделать следующие **выводы:**

– на территории ХМАО характер распространения ММП изменяется в соответствии с зональностью на равнинах и высотной поясностью в горах: сплошное распространение ММП – только в горах, прерывистое занимает нижние ярусы гор, котловины, горные долины и торфяники на севере северной тайги, массивно-островное распространение ограничено зоной северной тайги, в горах – низкогорьями в южной части гор, островное и редкоостровное присутствует только на торфяных массивах средней тайги;

– основная часть территории занята талыми породами (43 %) и редкоостровной мерзлотой (42 %);

– для территории ХМАО типичными среднегодовыми температурами (°С) мерзлых и талых пород на равнинах являются 0...–0,5/0...1, 0...–0,5/0...0,5 – мерзлые торфяники, талые пески и суглинки при редкоостровном характере ММП, 0,5...1,0 – талые пески и суглинки; в горах эти значения составляют –2...–3/1...2 и 0...–1/1...2 – низкие горы, предгорья, межгорные котловины;

– на распределение среднегодовых температур пород наибольшее влияние оказывают состав пород и растительность;

– при продвижении на юг мерзлые торфяники сокращаются по площади, но их температура остается практически неизменной, заметно лишь повышение температуры от 0...–1 до 0...–0,5 °С в плоскобугристых торфяниках;

– мерзлые массивы сложены торфом и суглинками в северной тайге и торфом в средней тайге, пески повсеместно талые;

– значение температуры талых пород подчиняется ландшафтно-грунтовым условиям, в том числе дренированности ландшафта;

– в поймах рек температуры талых пород наибольшие в силу отепляющего влияния аллювиальных вод.

КАРТА *"СЕЗОННОЕ ПРОМЕРЗАНИЕ И ПРОТАИВАНИЕ ГРУНТОВ"*

Особенности пространственного сосуществования сезонноталых и сезонномерзлых пород на территории ХМАО отражено в легенде карты. Основная ее часть имеет общепринятый вид (рис. 3). Для равнин построена матрица возможных сочетаний глубин протаивания и промерзания. Для Урала и пойм рек эти сочетания вынесены за пределы матрицы из-за значительного несовпадения диапазонов глубин с равнинными. Там, где мерзлота сплошная или она отсутствует, дается только глубина летнего протаивания или зимнего промерзания.

Диаграмма распределения площадей по глубинам сезонного промерзания и протаивания (рис. 4), составленная дополнительно к легенде, позволяет выделить преобладающие по площади интервалы (м), типичные для территории ХМАО: на равнинах их три – 0,5–0,8/1,1–1,4 (15 %), 0,8–1,1/0,8–1,1 (12 %), 1,1–1,4/1,7–2,0 (12 %), в горах – 0,5–1,0/1,0–2,0 (1,5 %).

В сводной табл. 2 показано распространение глубин сезонного промерзания и протаивания в зависимости от рельефа территории (равнины, горы), распространения ММП (сплошное, прерывистое, массивно-островное, талые породы), ландшафтных зон для равнин (северная тайга, средняя тайга, южная тайга) и высотных поясов для гор (высокие, средние, низкие, предгорья, межгорные котловины), литологического состава пород (торф, песок, суглинок).

Пространственный ГИС-анализ позволяет выявить следующие особенности сезонного мерзлотного процесса на территории ХМАО.

Рис. 3. Легенда карты "Сезонное промерзание и протаивание".

Сезонное протаивание при *сплошном* распространении ММП встречается только в горах, глубина протаивания в коренных и грубообломочных породах высоких поясов меньше (1–2 м), чем на более низких отметках (1,5–3,0 м). Сочетание сезонного промерзания и протаивания начинается там, где мерзлота становится *прерывистой*. В пределах ХМАО прерывистая мерзлота занимает крайнее северо-западное положение. На равнинах выделено всего одно сочетание диапазонов глубин от 0,5–0,8 до 0,8–1,1 м, характерное для торфяников северной тайги. В горах представлено три сочетания, различающихся для низких гор и предгорий, межгорных котловин, горных долин. Мощность сезонноталого слоя (СТС) изменяется от 0,5 до 3,0 м, сезонномерзлого слоя (СМС) – от 0,5 до 4,0 м, интервал шкалы для гор шире (в среднем 1,0 м), чем для равнин (0,3 м), в силу большего градиента изменчивости мерзлотно-ландшафтных условий. Сезонный криогенный процесс при *массивно-островном* распространении ММП представлен в северной тайге (шесть сочетаний диапазонов глубин) и в низкогорьях и предгорьях Урала (два сочетания). Сезонное протаивание наблюдается на островах и массивах мерзлоты, сложенных торфом или суглинком, а сезонное промерзание – на окружающих их талых суглинках или песках. В минеральных грунтах СТС больше (1,1–1,4 м), чем в торфе (0,5–0,8 и 0,8–1,1 м). Значения и разнообразие диапазонов СМС также больше в минеральных грунтах, что свидетельствует о большей изменчивости их ландшафтных условий. *Островная* мерзлота распространена в северной тайге (сезонноталые – суглинки и торф, сезонномерзлые – пески и суглинки) и в средней тайге (сезонноталые торфяники). Разнообразие мерзлотно-ландшафтных условий увеличивается (восемь сочетаний глубин). Минимальные глубины промерзания и протаивания (0,5–0,8 м) сосущест-

Рис. 4. Диаграмма распределения площадей по глубинам сезонного промерзания и протаивания.

Таблица 2. **Мерзлотно-ландшафтные условия формирования глубин сезонного промерзания и протаивания**

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГЛУБИН СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ (м)

Распространение многолетнемерзлых пород	Равнины															Горы				
	Северная тайга						Средняя тайга					Южная тайга		Поймы		высокие и средние	средние и низкие	низкие и предгорья	межгорные котловины	долины
	Литологический состав пород (сезонноталых/сезонномерзлых)													крупных рек	малых рек					
	торф	суглинок	песок	суглинок / песок	торф / песок	торф / суглинок	торф / суглинок	торф / песок	торф	суглинок	песок	торф	суглинок	пестрый состав пород						
Сплошное																1,0–2,0	1,5–3,0			
Прерывистое	0,5–0,8 / 0,8–1,1																	1,0–2,0 / 2,0–3,0	**0,5–1,0 / 1,0–2,0**	0,5–3,0 / 0,5–4,0
Массивно-островное		1,1–1,4 / 1,4–1,7		1,1–1,4 / 1,7–2,0	0,8–1,1 / 1,1–1,4 0,8–1,1 / 1,4–1,7	0,8–1,1 / 1,1–1,4								– / 0,5–2,0	– / 0,5–3,0			0,5–1,0 / 1,0–2,0		
Островное				1,1–1,4 / 1,4–1,7 **1,1–1,4 / 1,7–2,0**	0,8–1,1 / 1,1–1,4	**0,5–0,8 / 1,1–1,4**	0,8–1,1 / 0,5–0,8 0,8–1,1 / 1,4–1,7	0,8–1,1 / 1,1–1,4 0,8–1,1 / 1,7–2,0	1,1–1,4 / 1,7–2,0 0,5–0,8 / >2,0	0,5–0,8 / 0,5–0,8 0,8–1,1 / 0,5–0,8 **0,8–1,1 / 0,8–1,1**										
Редко-островное																				
Талые породы			– / >2,0						– / 0,5–0,8 – / 0,8–1,1	– / 1,4–1,7 – / >2,0	– / 1,4–1,7 – / 1,7–2,0 – / >2,0	– / 0,5–0,8	– / >2,0							

Примечание. Выделены преобладающие по площади значения. В числителе – глубина сезонного протаивания, в знаменателе – глубина сезонного промерзания.

вуют в озерно-хасырейном комплексе переувлажненных равнин. В других типах мерзлых болот протаивание и промерзание несколько больше (0,8–1,1 м). Максимальное значение СТС в торфе, подстилаемом песками (1,1–1,4 м), свидетельствует о том, что мощность торфа невелика и протаивание происходит и в песках. Талые грунты залесенных равнин промерзают в зависимости от состава и дренированности ландшафта от 0,5–0,8 м (суглинки топяных болот) до более 2 м (пески относительно дренированных возвышенных равнин). *Редкоостровное* распространение мерзлоты встречается только в средней тайге в торфе. Мощности СТС и СМС распределяются аналогично островной мерзлоте.

Область талых пород расположена в средней и южной тайге. Наименьшие значения СМС – в торфе (до 0,8–1,1 м). В суглинистых и песчаных породах равнин СМС изменяется от 1,4–1,7 м до более 2 м в зависимости от *дренированности*.

Поймы равнинных рек талые. Пестрый состав грунтов, увлажненность, растительность, распределение снежного покрова определяют большой диапазон изменения глубины СМС от 0,5 до 2,0 м для крупных рек и от 0,5 до 3,0 м для малых рек. В горных долинах возможно как промерзание, так и протаивание в широком диапазоне глубин.

В целом по диаграмме и сводной таблице можно сделать следующие **выводы:**

– в северной тайге сезонное протаивание происходит только в торфе и суглинках;

– в средней тайге острова мерзлоты приурочены к торфяникам;

– на равнинах наименьшие глубины промерзания и протаивания – в торфе, их дифференциация определяется гидроморфностью ландшафта;

– пески промерзают повсеместно, величина СМС зависит от дренированности территории;

– наибольшее разнообразие условий сезонного криогенного процесса наблюдается в зоне средней тайги и, особенно, в области редкоостровного распространения ММП, т. е. вдоль южной границы вечной мерзлоты;

– для территории ХМАО типичными глубинами (м) сезонного промерзания и протаивания являются: на равнинах – 0,5–0,8/1,1–1,4 (мерзлые торфяники на талых суглинках), 1,1–1,4/1,7–2,0 (мерзлые суглинки, талые пески) в северной тайге на островных ММП, 0,8–1,1/0,8–1,1 в торфяниках средней тайги на редкоостровных ММП; в горах – 0,5–1,0/1,0–2,0 (межгорные котловины);

– в пределах ХМАО значения глубин промерзания и протаивания определяются главным образом теплофизическими свойствами грунтов, а климатические изменения проявляются в сокращении к югу площади мерзлых пород;

– в горах диапазоны глубин шире в силу большей изменчивости мерзлотных условий с высотой.

КАРТА *“ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ МЕРЗЛОТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЛАНДШАФТОВ К АНТРОПОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ”*

На карте выделено четыре типа территорий по устойчивости мерзлотных условий к техногенезу: устойчивые, относительно устойчивые, относительно неустойчивые, неустойчивые (рис. 5). Основой оценки степени устойчивости, как правило, являются изменение температуры, площадь и мощность мерзлых пород, льдистость (количество льда) и опасные мерзлотные процессы. При несплошном распространении мерзлых пород важно учитывать температуру как собственно мерзлых массивов и островов, так и талых пород. Техногенное освоение сопровождается здесь оттаиванием мерзлоты или ее новообразованием. Значит, при оценке устойчивости определяется возможность перехода температур через 0 °С в сторону их положительных или отрицательных значений.

Льдистость минеральных мерзлых пород в ХМАО велика – более 60 %, а в торфе – 100 % и более. Талые породы в гидроморфных ландшафтах весьма влажные – более 60 %. Их промерзание, сезонное или многолетнее, оказывает большое воздействие как на экологическую ситуацию, так и на сооружения (в основном из-за пучения).

Мерзлотные процессы также являются основанием для оценки устойчивости, поскольку именно с ними связано нарушение ландшафтной структуры и экологические изменения природных комплексов, а также аварийность инженерных

Рис. 5. Легенда карты “Потенциальная устойчивость ландшафтов к антропогенным воздействиям”.

Рис. 6. Диаграмма распределения площадей по типам устойчивости ландшафтов.

Таблица 3.

Мерзлотно-ландшафтные условия формирования типов устойчивости ландшафтов

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТИПОВ УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ

Распространение многолетнемерзлых пород	Равнины																		Горы				
	Северная тайга								Средняя тайга							Южная тайга		Поймы рек	высокие и средние	средние и низкие	низкие и предгорья	межгорные котловины	долины
	Литологический состав пород (сезонноталых/сезонномерзлых)																	пестрый состав пород					
	торф	суглинок	песок	суглинок песок	торф песок	торф суглинок	торф суглинок	торф песок	торф	суглинок	песок	торф	суглинок										
Сплошное																			У	**ОУ**			
Прерывистое	Н																				**ОУ** ОН	ОН	Н
Массивно-островное		ОН			ОН Н																Н		
Островное				ОН		Н	Н	ОН										ОУ					
Редко-островное							**ОН** **ОУ**	ОУ У	**ОН**														
Талые породы			У						ОУ	У	У	ОУ	**У**										

Примечание. Выделены преобладающие по площади значения. Типы ландшафтов: У – устойчивые, ОУ – относительно устойчивые, ОН – относительно неустойчивые, Н – неустойчивые.

объектов. На территории ХМАО опасными в разной степени являются следующие криогенные процессы: термокарст, термоэрозия, дефляция, пучение, солифлюкция, курумы, наледеобразование.

Традиционная форма легенды карты малоинформативна, необходимо предварительное знакомство с другими картами раздела “Мерзлота”, их совместный анализ. В атласе данной карте предшествует карта “Активизация мерзлотных процессов при антропогенном воздействии”, где представлены мерзлотные процессы и степень их активизации в зависимости от площади пораженного ландшафта и скорости развития. Сопоставление карт показывает, что степень потенциальной устойчивости ландшафта пропорциональна количеству и интенсивности (активизации) мерзлотных процессов.

При составлении карты проводился ГИС-анализ тематических слоев: “ландшафты”, “распространение ММП”, “состав пород”, “температура”, “мощность СТС–СМС”, “активизация процессов”, его интересные обобщения при традиционном подходе остаются за пределами карты. Составление диаграммы распределения площадей по типам устойчивости и сводной таблицы условий формирования позволяет расширить содержание карты, связать его с данными исходных карт.

Из диаграммы (рис. 6) видно примерно равное соотношение устойчивых (31 %), относительно устойчивых (33 %) и неустойчивых (31 %) типов. Наименьшую долю (5 %) занимают неустойчивые ландшафты.

С помощью табл. 3 можно анализировать формирование той или иной устойчивости в определенных мерзлотно-ландшафтных условиях и прогнозировать характерные проявления криогенных процессов при антропогенном воздействии. В ней приведены пять типов распространения мерзлых пород (от сплошных до редкоостровных), а также талые породы. Показано, в каких ландшафтных подзонах и поясах (от северной до южной тайги и от высокогорий до межгорных котловин) наблюдается тот или иной тип устойчивости. Кроме того, учитывается состав основных литологических разностей (торф, суглинок, песок) в слое сезонного протаивания на мерзлоте и слое сезонного промерзания на талых породах до глубины от 0,5–1,0 до 2,0 м, поскольку влияние состава на мерзлотную устойчивость также велико.

Влияние температур пород, сезонного криогенного процесса можно проследить, подключив к анализу сводные таблицы соответствующих предыдущих карт.

При *сплошном* распространении ММП (высоко- и среднегорья Урала) ландшафты устойчивы к антропогенным воздействиям. Здесь нарушения чрезвычайно разреженной растительности или снежности практически не влияют на мерзлотно-экологическую ситуацию. Кроме того, вероятность освоения этих территорий невелика, что снимает вопрос об аварийности инженерных сооружений. Относительно устойчивы более низкие ярусы средних и низких гор.

В зоне *прерывистого* распространения мерзлоты в горах формируются три типа устойчивости, повышающейся с высотой. На более низких высотах температура пород выше. Широко распространены льдистые связные грунты и торф, лесная и болотная растительность, нарушение которой приводит к протаиванию мерзлоты и развитию опасных мерзлотных процессов. Кроме того, нижние ярусы гор являются местами наиболее интенсивной хозяйственной деятельности.

В соответствии с этим ландшафты в долинах наиболее неустойчивы, в межгорных котловинах и предгорьях – относительно неустойчивы, а низкогорья относительно устойчивы. Для равнин характерны неустойчивые ситуации в торфяниках болотных ландшафтов в северной тайге.

Массивно-островное распространение ММП характеризуется неустойчивым (торфяники) и относительно неустойчивым типами. К неустойчивым относятся залесенные склоны северной экспозиции, замшелые леса, днища логов. Приповерхностные отложения представлены сильнольдистыми суглинками, повсеместное протаивание которых может вызвать широкое развитие мерзлотных процессов.

В южной части гор неустойчивы ландшафты нижнего яруса, содержащие заторфованные участки, температуры пород близки к 0 °С.

При *островном* распространении ММП наблюдаются ландшафты от неустойчивых до относительно устойчивых. Неустойчивы торфяники болотных ландшафтов северной и средней тайги. Относительно неустойчивы ландшафты переувлажненных равнин с разнообразными болотами (торф/суглинок, торф/песок). Опасность представляет глубокое протаивание льдистых торфов. Относительно устойчивы умеренно увлажненные ландшафты возвышенных равнин.

Ландшафты средней тайги с редкоостровной мерзлотой в зависимости от гидроморфности относительно неустойчивые (торфяники), относительно устойчивые и устойчивые. Там, где мерзлые породы отсутствуют, ландшафты относительно устойчивы в торфяниках и устойчивы на песчаных возвышенных равнинах в северной тайге, на маловлажных песчаных и суглинистых территориях они устойчивы в средней и южной тайге. Поймы рек, в том числе и долина р. Оби, где породы талые, отнесены к относительно устойчивому типу.

Совместный анализ карты и результатов ГИС-анализа позволяет выделить в таблице наиболее распространенные типы устойчивости в связи с условиями их формирования: относительно неустойчивые, относительно устойчивые и устойчивые – на равнинах, относительно устойчивые – в горах.

Выводы по диаграмме и таблице:

– на Урале устойчивость ландшафтов коррелирует с высотной поясностью, степень устойчивости уменьшается от высокогорий к предгорьям, котловинам, долинам вслед за повышением температуры грунтов и льдистости;

– неустойчивые ландшафты представлены главным образом торфяниками болотных ландшафтов, которые наиболее широко распространены в северной тайге, распространение мерзлых пород здесь разнообразно – от прерывистого до островного;

– наиболее опасная ситуация складывается в криолитозоне северной тайги, где распространены только два типа устойчивости – неустойчивые и относительно неустойчивые ландшафты;

– наибольшее разнообразие типов устойчивости проявляется в средней тайге, в ландшафтах с островным и редкоостровным типами ММП;

– для территории ХМАО типичны относительно устойчивые ландшафты (мерзлый торф, талые суглинки) средней тайги с редкоостровным характером ММП, относительно неустойчивые ландшафты (мерзлый торф, талые торф и суглинки) средней тайги с островным и редкоостровным характером ММП, устойчивыми являются южнотаежные ландшафты на талых суглинках; в горах преобладает относительно устойчивый тип (средне-, низко- и предгорья);

– наиболее четко выражена зависимость типа устойчивости от характера распространения ММП (площади мерзлых пород), их состава и льдистости (влажности);

– при продвижении на юг в ландшафтах с аналогичным составом пород устойчивость возрастает, так как сокращаются площади мерзлых пород, а следовательно, и возможных опасных криогенных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная выше информация получена исключительно при аналитическом чтении карты с помощью диаграмм и таблиц взаимосвязей. Подобную корреляцию можно провести, анализируя ряд соответствующих карт в Атласе ХМАО, но нельзя точно оценить полный спектр сочетаний тех или иных параметров. Кроме того, это доволь-

но трудоемкая работа. ГИС-анализ позволяет выполнить ее относительно легко и быстро. Задача картографа – сделать его результаты доступными для широкого круга пользователей карты, информативность которой значительно повысится.

Современный уровень составления карт, обусловленный совершенствованием программного обеспечения, позволяет перейти к новому типу легенд (в частности, для карт природы), раскрывающему взаимосвязи компонентов природной среды. С одной стороны, это усложняет саму легенду, с другой – значительно облегчает анализ карты. Следует отметить, что прогресс науки и технологии влечет за собой составление карт все более сложного содержания, рассчитанных на квалифицированного потребителя. При этом возрастает роль картографа: организация элементов содержания, выбор средств и способов изображения, графическое построение легенды должны максимально упрощать чтение карты, акцентировать внимание на взаимосвязи явлений.

Литература

Атлас Тюменской области. М.; Тюмень, ГУГК, 1971, вып. 1, листы 14, 15.

Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Т. II. Природа. Экология. М., ООО НПФ “Талка–ТДВ”, 2004, с. 53–59.

Геокриологическая карта СССР. М-б 1:5 000 000 / Ред. И.Я. Баранов. М., ГУГК, 1977.

Геокриологическая карта СССР. М-б 1:2 500 000 / Ред. Э.Д. Ершов. Винница, Карт. предприятие, 1997 .

Гарагуля Л.С., Гордеева Г.И., Шаталова Т.Ю. О содержании и методике составления эколого-геологических карт криолитозоны // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология, 2001, № 1, с. 40–48.

Circum-arctic map of permafrost and ground ice conditions, scale 1:10 000 000 / Ed. by J. Brown, O.J. Ferrians, Jr., J.A. Heginbottom, E.S. Melnikov. Reston, Virginia, Interior-geol. survey, 1997.

Поступила в редакцию
27 марта 2006 г.