

А.А. Медведков¹

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ЛАНДШАФТОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ В УСЛОВИЯХ ЯРУСНОГО СТРОЕНИЯ РЕЛЬЕФА ЮЖНОЙ КРИОЛИТОЗОНЫ

АННОТАЦИЯ

Применительно к условиям южной криолитозоны рассмотрен опыт крупномасштабного картографирования геолого-геоморфологической основы ландшафтов с ярусной структурой рельефа. В качестве ключевого участка для анализа полученных результатов выступает территория на севере Енисейского кряжа, площадью 25 км². В ходе проведения полевых работ на территории ключевого участка было заложено более десятка трансектов, относящихся к различным структурным уровням рельефа – продуктам его циклического развития. Поверхностные отложения изучались по керну скважин, в редких естественных обнажениях и почвенных шурфах, а также использованы и экстраполированы данные по аналогичным участкам Енисейского кряжа. Представленные в статье данные об особенностях рельефа послужили основой для разработки иерархии геосистемных подразделений, которые применимы для ландшафтного картографирования территорий с выровненным денудационным рельефом – Енисейского кряжа, запада Среднесибирского плоскогорья и других регионов со схожей историей развития. Ярусность рельефа и основные характеристики покровных отложений отражены в легенде к крупномасштабной карте. Выделены 2 уровня поверхности выравнивания и комплекс поверхностей наложенной планации и расчленения, которые являются 3 разными ландшафтами. Установлено, что основная роль в формировании чехла поверхностных отложений принадлежала перигляциальным процессам, проявившимся в условиях ледниковых эпох неоплейстоцена (Q_{2-3}) и отчасти в голоцене (Q_4). Охарактеризованы основные типы перигляциальных образований, получившие широкое распространение в пределах изучаемой территории: элювиально-десерпционные отложения (на вершинных поверхностях), солифлюкционно-десерпционные накопления (на склоновых поверхностях и ложковых днищах) и коллювиально-аллювиальные отложения (на гласисо-поймах). Показано, что данные типы поверхностных отложений дифференцировано влияют на локализацию мерзлотных геосистем. Анализ данных по генезису покровных отложений и их связи с рельефом позволил экстраполировать результаты полевых исследований и закартировать мерзлотные ландшафты – наиболее уязвимые к внешнему воздействию природные комплексы, требующие применения специальных природоохранных мер.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сибирская тайга, мерзлотно-таежные ландшафты, ярусность рельефа, перигляциальные отложения, геоморфологическое картографирование, картографирование ландшафтов, добыча полезных ископаемых, охрана ландшафтов

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия, e-mail: a-medvedkov@bk.ru

Alexey A. Medvedkov¹

MAPPING OF THE GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGIC BASEMENT OF LANDSCAPES UNDER THE LEVEL STRUCTURE OF RELIEF FOR MANAGING ENVIRONMENTAL RISKS WITHIN THE SOUTHERN CRYOLITHOZONE

ABSTRACT

The article considers the experience of large-scale mapping of the geological and geomorphological framework of landscapes, taking into account the layered structure of the relief. The key study site represented a 25 km² area, in the northern part of the Yenisei Ridge. This territory is located in the southern cryolithozone. In the course of field work, over a dozen transects were established. They reflected various structural levels of the relief, i.e., the products of its cyclic development. Surface deposits were studied using borehole cores, occasional natural outcrops, and soil pits. These data were supplemented with extrapolations from the analogous areas of the Yenisei Ridge. The collected material on relief features provided the basis for the development of landscape subdivisions' hierarchy applicable for landscape mapping of territories with leveled denudation relief: the Yenisei Ridge, the west of the Central Siberian Plateau, and other regions with a similar history of development. The compiled map's legend reflects the relief stratification and the main features of cover sediments. Two levels of planation surface and a complex of surfaces with superimposed planation and differentiation (three different landscapes) were identified. Periglacial processes in the Neopleistocene (Q₂₋₃) glacial epochs and partially in the Holocene (Q₄) played the key role in the formation of the sedimentary cover. The main types of periglacial formations, wide spread within the study territory, were identified and included eluvial-desorption deposits (on summit areas), solifluction-desorption deposits (on slopes and ravine floors), and colluvium-alluvial deposits (on glacia floodplains). We have demonstrated that these types of surface deposits have differentiated influence on the distribution of permafrost geosystems. Analysis of the data on genesis of cover sediments and their relation to relief allowed us to extrapolate the results of the field studies and to map permafrost landscapes — the most susceptible to external impacts natural complexes that require targeted environmental policies.

KEYWORDS: Siberian taiga, permafrost-taiga landscapes, layered relief, periglacial deposits, geomorphological mapping, landscape mapping, mining, landscape protection

ВВЕДЕНИЕ

Сводово-блоковый массив Енисейского кряжа — это территория криолитозоны, отличающаяся сложными природными условиями. Здесь такие факторы, как контрастность рельефа, а также наличие льдистых пород, еще больше усиливают разнообразие межкомпонентных связей и складывающуюся в связи с этим мозаичность природных комплексов. В данных условиях для оценки устойчивости геосистем особое значение получает комплексный анализ информации с привлечением самых полных данных по литогенной основе ландшафта, поскольку свойства других его компонентов в условиях криолитозоны контролируются рельефом, о чем подробнее мы скажем ниже. Заметим, что при анализе устойчивости ландшафта ключевое значение должно придаваться анализу компонентной структуры ландшафта [Хорошев, 2016]. В рамках данной работы мы сосредоточимся на опыте изучения компонентов инертной основы ландшафта для задач геоэкологического картографирования. В этом (инертном) качестве по А.А. Крауклису [Крауклис, 1979] выступает литогенная основа,

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia, e-mail: a-medvedkov@bk.ru

являющаяся важнейшим фактором физико-географической дифференциации. Д.А. Тимофеев [Развитие рельефа..., 1993] называет ее «геолого-геоморфологической основой геосистемы», а И.А. Волков и С.К. Кривоногов [Волков, Кривоногов, 1994] – «геолого-геоморфологической основой ландшафта». Под литогенной основой (геомой) мы понимаем приповерхностный состав горных пород и морфологический облик дневной поверхности, обусловленный проявлением взаимного сочетания тектонического режима территории и ее экзогенной динамики. В условиях горной криолитозоны литолого-геоморфологическое разнообразие обуславливает не только мозаичность микроклимата и режима увлажнения, но и существенно влияет на льдистость и особенности распространения многолетнемерзлых пород (ММП), а также определяет специфику мерзлотных ландшафтов. Природные комплексы, которые функционируют на многолетнемерзлых породах, имеют сезонно протаивающий (активный) слой почвы и заметные признаки воздействия криогенеза на растительный покров, морфологию дневной поверхности, строение и свойства почвы, мы именуем мерзлотными ландшафтами.

Согласно опубликованным данным [Татауров, 2008], режим многолетнемерзлых грунтов влияет также и на условия миграции химических элементов, например, в данных условиях подвижность золота возрастает. Воздействие криогенеза сказывается не только на массивах, обломках горных пород и минеральных ассоциациях, но и на веществах, вносимых при обогащении полезных ископаемых [Татауров, 2008]. Данные геотехнические особенности, обусловленные условиями криолитозоны, в основном за счет дезинтеграции горных пород, необходимо учитывать при прогнозировании геоэкологических рисков, что, безусловно, является темой отдельного исследования.

Картографирование мерзлотных ландшафтов и моделирующих их криогенных процессов требует особого внимания и учета при выполнении инженерных (инженерно-геологических и инженерно-экологических) изысканий. Обычно такие тематические карты используются на ранних стадиях проектирования хозяйственных объектов, что позволяет наиболее полно оценить геоэкологические особенности осваиваемой территории и спрогнозировать потенциальные риски. В рамках искомой работы мы проиллюстрируем использование данных по генезису покровных отложений и их связи с рельефом территории для выявления наиболее уязвимых к антропогенной нагрузке ландшафтных комплексов горной криолитозоны, требующих применения повышенных природоохранных мер. Весь рыхлый чехол, фиксирующий существующий рельеф, мы будем называть, как и принято, поверхностными отложениями. В методологическом отношении мы будем базироваться на классических основах ландшафтного картографирования, заложенного Н.А. Солнцевым [Солнцев, 2001], который для разработки иерархии ландшафтных подразделений предложил опираться на данные об особенностях рельефа территории (рис. 1). По его мнению литогенные компоненты (геологическое строение, литология и рельеф) являются ведущими факторами формирования ландшафта. Для российской школы ландшафтоведения данный взгляд стал классическим.

В качестве ключевого участка для представления и анализа полученных результатов выступает территория золотодобывающего месторождения «Высокое», площадью около 25 км². Район исследования расположен в правобережной части бассейна р. Чапа (р. Чапа – р. Вельмо – р. Подкаменная Тунгуска), в административном отношении это территория Северо-Енисейского муниципального района Красноярского края. Данный участок приурочен к полю распространения пород раннего и позднего протерозоя – в основном метаморфических сланцев, а также терригенно-карбонатных пород, подвергшихся слабому метаморфизму и нарушенных системой параллельных разломов северо-западного простирания. Специфично, что на столь небольшом по площади участке получили распространение породы нижнепротерозойского, нижнерифейского, среднерифейского и верхнерифейского возрастов. В рельефе отчетливо выражена ступенчатость, оформившаяся в результате смены разных циклов развития, о чем подробно будет сказано ниже. Геокриологические условия характеризуются островным, реже – массивно-островным развитием льдистых пород, мощностью до 25 м [Геокриологическая карта..., 1991]. В зонально-ландшафтном отношении данная территория относится к области средней тайги.

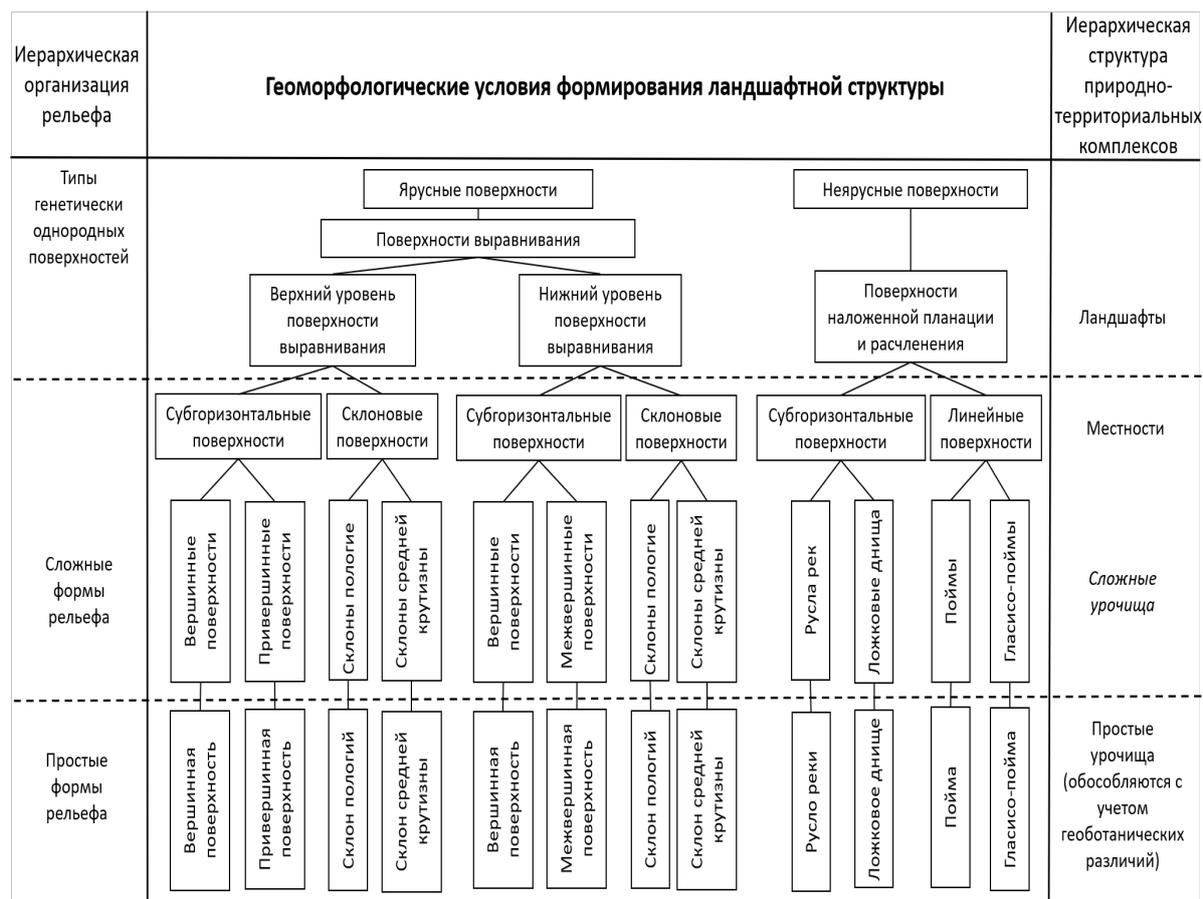


Рис.1. Соотношение геоморфологических и ландшафтных структур
Fig.1. Correlation of geomorphological and landscape structures

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе проведения полевых работ на территории ключевого участка было заложено более десятка трансектов. Трансекты охватили наиболее типичные и интересные нас мерзлотные и немерзлотные урочища, относящие к различным структурным уровням рельефа. Поверхностные отложения изучались по керну скважин, в редких естественных разрезах и в почвенных шурфах. Также использованы и экстраполированы данные по смежным участкам Енисейского кряжа [Воробьев и др., 1975; Горшков, 1967; Комплекс дистанционных..., 1978]. Индикация геокриологических условий осуществлялась по отработанной методике с использованием визуально выразительных признаков (геоморфологических, геоботанических и др.), типичных для мерзлотных геосистем Среднеенисейского региона [Горшков и др., 1998; Горшков и др., 2003; Медведков, 2014; Medvedkov, 2015; Medvedkov, 2016], которые отражены в одном из пунктов легенды к рис. 2 (см. прочие условные обозначения). Мощность сезонно-талого слоя оценивалась щупом и визуально в закопках. Для экстраполяции результатов полевых исследований использовались также данные дистанционного зондирования, в т. ч. тепловой инфракрасной съемки – для оценки площадного распространения мерзлотных геосистем с особой структурой растительного покрова [Медведков, 2016]. Подобные приемы применяются для решения смежных задач как в равнинной субарктике [Корниенко, 2012], так и в других горных районах бореальной криолитозоны [Kalinicheva, 2019], [Медведков, Котова, 2020].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ярусное строение рельефа – основа ландшафтной структуры территории.
Подход Н.А. Солнцева конкретизирован, исходя из того, что Енисейскому кряжу и смежному Средне-Сибирскому плоскогорью, как консолидированным областям сноса, свой-

ственно наличие двух ярусов выравнивания и ярусов расчленения, а также комплекса неярусных поверхностей наложенной планации и наложенного расчленения (рис. 2, табл. 1). Если следовать методике Н.А. Солнцева, то два уровня поверхности выравнивания – это два ландшафта [Медведков, 2014]. В дальнейшем они разделяются на крупные таксоны – местности. В качестве местностей выделяют сочетания вершинных поверхностей, комбинацию более или менее однотипных склонов, комплексы террас в днищах долин и т. п. Местности далее подразделяются на урочища. В ранге урочища рассматривается каждая обособленная вершинная поверхность, каждый склон определенного диапазона крутизны (пологий, средней крутизны, крутой, отвесный), однотипные составляющие днищ долин (рис. 1). На уровне урочища дополнительным критерием различия служит характер растительности.

Тем не менее, в зависимости от масштаба и целей картирования пользуются термином «сложное урочище». Подобный подход используется при необходимости объединения природных комплексов в промежуточные единицы между местностью и элементарным урочищем. Это обусловлено тем, что сложные урочища объединяют морфологически сходные, но не абсолютно тождественные элементы рельефа, а также относительно разнородные растительные ассоциации. Разрабатывая методику крупномасштабного картографирования геоморфологии ландшафтов, применительно к горным условиям, целесообразнее оперировать понятием «сложное урочище», что и было принято в данной статье в качестве основной единицы приводимой классификации. Таким образом, представленная в данной статье геолого-геоморфологическая основа ландшафтов в границах существующих выделов может быть использована для картографирования природных комплексов на иерархическом уровне сложных урочищ. Дальнейшее подразделение геосистемного покрова на элементарные урочища возможно при учете разнообразия (т. е. последующей детализации) растительного покрова.

Поверхности существующего рельефа каждого яруса в большей или меньшей степени сохраняют следы циклов формирования исходного рельефа и последующей моделировки в виде фиксирующих грани рельефа поверхностных континентальных осадочных образований [Горшков, Барков, 1975]. Эти важные особенности в определенной степени использованы при ландшафтном картографировании данного ключевого участка [Медведков, 2014]. Суть модернизации традиционных приемов картографирования состоит в выделении в рельефе консолидированной области сноса ярусов выравнивания и ярусов расчленения, а также комплекса неярусных или интраярусных поверхностей наложенной планации и наложенного расчленения (рис. 2).

В рельефе рассматриваемой территории выделены следующие гипсометрические ступени: поверхность наложенной планации и два уровня древней поверхности выравнивания, разделенные зоной дизъюнктивных нарушений. Несмотря на это, переход от верхнего к нижнему уровню поверхности выравнивания в основном выражен в виде пологосклонного уступа, опирающегося на полосу тектонических нарушений северо-западного простирания в пределах нижнего уровня (рис. 2). Следовательно, зона разломов выражена как морфотектоническая граница, разделяющая древнюю поверхность выравнивания на два уровня: верхний с высотами вершинных поверхностей 480–560 м и нижний – 230–420 м, а урез воды р. Чапа в пределах ключевого участка колеблется от 207 до 220 м. Такие разрывные нарушения являются областями повышенной трещиноватости и заметно отражаются на ландшафтном рисунке. Подобные примеры известны и в других районах, что находит отражение в морфологии их ландшафтов [Викторов, 1986]. Так, на рис. 2 данная зона выражена в форме практически прямолинейной границы между двумя поверхностями выравнивания, что особенно заметно по ландшафтному рубежу между наиболее массивными контурами под № 3 и № 6.

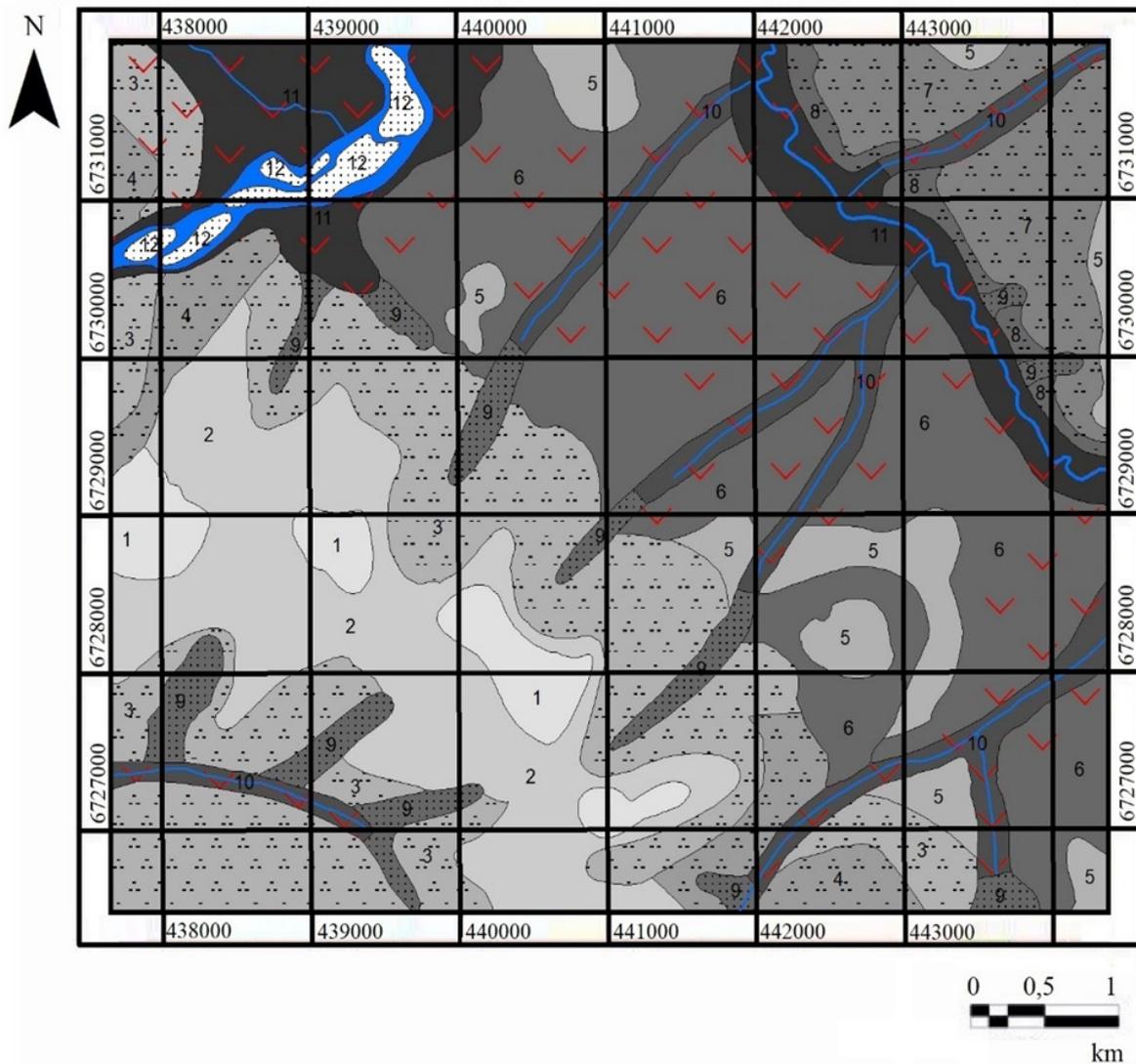


Рис. 2. Геолого-геоморфологическая основа ландшафтов в пределах ключевого участка на севере Енисейского кряжа
Fig. 2. Geological and geomorphological basis of landscapes within the key area in the north of the Yenisei Ridge

Ярусы расчленения на искомой территории не выделены, так как крутые поверхности молодого эрозионного вреза здесь выражены слабо. Кроме того, можно полагать, что заполнение долин доледниковым и перигляциальным аллювием частично сгладило и уменьшило расчленение рельефа. И основная особенность рельефа района – его выполаженность стала еще более выразительной не только из-за первичной пенеplanationизации в конце мезозоя и раннем – среднем кайнозое, но за счет выравнивающей роли перигляциальной денудации и аккумуляции в четвертичном периоде. Отложения перигляциального этапа моделировки четвертичного времени в пределах ярусов выравнивания залегают в форме почти сплошного покрова. Наряду с этим, не все поверхности рельефа четко объединяются в пределах двух уровней поверхности выравнивания. Выделяются, как сказано выше, также неярусные поверхности наложенной планации и расчленения. Поверхности наложенной планации представлены аккумулятивными телами – наплывами, смыкающимися с поймами. Вместе они образуют гласисо-пойму, т. е. поверхность наложенной планации неоплейстоцена – голоцена (Q_{2-4}). Здесь сформировались наиболее значительные коллювиально-аллювиальные накопления, продолжающие развиваться в форме аккумулятивных наплывов в долинах рек и ложках. К поверхностям наложенного расчленения относятся пойма и русловой комплекс. Стоит заметить, что на рассматриваемой террито-

рии террасы речных долин перекрыты склоновыми образованиями, поэтому они не столь выражены в ее рельефе. Представляется, что данная особенность является типичной для древнего выровненного рельефа, характеризующегося длительной денудацией и слабым проявлением неотектонических движений.

Табл. 1. Условные обозначения к рис. 2
Table 1. Symbols for Fig. 2

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

№ контура на карте	Геоморфологические структуры	Характеристика поверхностных отложений		Условные обозначения
		Генетический тип	Мощность (в метрах)	
	I. Верхний уровень поверхности выравнивания с абсолютными отметками до 480 -500 м выработан в нижнепротерозойских породах (PR₁) – слюдяных сланцах, мраморизованных известняках, нижнерифейских породах (Rf₁) – филлитовидных сланцах, метапесчаниках, доломитах, среднерифейских породах (Rf₂) – зеленоцветных микросланцах и песчано-глинистых флишоидах			
1	<i>Вершинные поверхности округлые и округло-вытянутые</i>	<i>элювиально-десерпционные</i>	<i>1-2</i>	
2	<i>Околовершинные поверхности с крутизной менее 3°</i>	<i>солифлюкционно-десерпционные</i>	<i>2-5</i>	
3	<i>Склоны пологие (3-8°)</i>	<i>солифлюкционно-десерпционные</i>	<i>2-5</i>	
4	<i>Склоны средней крутизны (9-17°)</i>	<i>солифлюкционно-десерпционные</i>	<i>2-5</i>	
	II. Верхний уровень поверхности выравнивания с абсолютными отметками до 300 -430 м выработан в верхнерифейских породах (Rf₃) – конгломератах, песчаниках, алевролитах, аргиллитах, мергелях, доломитах			
5	<i>Вершинные поверхности слабо выпуклые округлые и округло-изогнутые</i>	<i>элювиально-десерпционные</i>	<i>3-5</i>	
6	<i>Межвершинные поверхности с наклоном менее 3°, чаще 1-2°</i>	<i>солифлюкционно-десерпционные</i>	<i>2-5</i>	
7	<i>Склоны пологие (3-8°)</i>	<i>солифлюкционно-десерпционные</i>	<i>2-5</i>	
8	<i>Склоны средней крутизны (9-17°)</i>	<i>солифлюкционно-десерпционные</i>	<i>2-5</i>	
	III. Наложённый долинно-днищевый комплекс (Q₂₋₄)			
9	<i>Ложковые днища</i>	<i>солифлюкционно-десерпционные</i>	<i>5-10</i>	
10	<i>Гласисо-пойма малых рек</i>	<i>коллювиально-аллювиальные</i>	<i>5-7</i>	
11	<i>Гласисо-пойма крупных рек</i>	<i>коллювиально-аллювиальные</i>	<i>5-9</i>	
12	<i>Пойма и русловые формы</i>	<i>аллювиальные</i>	<i>3-6</i>	

Табл. 2. Прочие условные обозначения к рис. 2
Table 2. Other symbols for Fig. 2

Условные знаки	Расшифровка обозначений
	<p>Урочища с явными признаками воздействия криогенных процессов: а) на растительный покров (разреженность древостоя, его наклонное положение, широкое распространение пихты стланиковой формы, ерниковых зарослей (карликовой березы, полярной ивы), обилие осоки и преобладание сфагновых мхов, из кустарничков – типична голубика, б) на дневную поверхность и ее рельеф (кочковатость, наличие солифлюкционных наплывов, валиков и окон-разрывов, термокарстовых просадок), в) на свойства и строение почвы (оглеение, высокая влагонасыщенность, криотурбированные горизонты, значительная толщина торфа и др.)</p>
	<p>Реки</p>

Специфика поверхностных отложений и субстратные условия природных комплексов. Поверхности существующего рельефа каждого яруса в большей или меньшей степени сохраняют черты исходного рельефа и редуцированный покров континентальных осадочных образований, фиксирующих его грани. Кроме того, такие поверхности отображают следы циклов последующей моделировки, в частности, в форме фиксирующих их континентальных осадочных образований каждого этапа моделировки.

Проработка фондовых материалов и полевые исследования показали, что поверхностные отложения севера Енисейского кряжа включают: 1) фрагменты древней миоценовой коры выветривания (N_1), 2) аллювий нескольких надпойменных террас плиоцен-раннечетвертичного возраста (N_2-Q_1), 3) эоплейстоценовый аллювий (Q_1) и неоплейстоценовые перигляциальные речные отложения ($Q_{2,3}$) переуглублений речных долин, 4) субаэральные в основном перигляциальные покровные накопления неоплейстоцена-голоцена ($Q_{2,4}$). Ниже раскроем наиболее важные особенности поверхностных отложений севера Енисейского кряжа, имеющие ландшафтообразующее значение.

Основная роль в формировании чехла поверхностных образований принадлежала перигляциальным процессам, проявившимся в условиях ледниковых эпох неоплейстоцена ($Q_{2,3}$) и отчасти в голоцене. В этой связи ниже мы остановимся на двух типах перигляциальных образований, получивших широкое распространение на изучаемом участке: элювиально-десерпционные **суглинисто-щебнистые образования** (типичные для вершинных поверхностей) и солифлюкционно-десерпционные накопления (типичные для склоновых поверхностей и ложковых днищ). Отметим, что склоны холодных румбов (северных и восточных) более подвержены накоплению субаэральных покровов.

По мере обобщения данных о генезисе покровных субаэральных перигляциальных образований глыбово-щебнисто-суглинистые отложения оказались особым типом в ряду между глыбовниками (курумы) и **суглинистыми покровами** (наплывы). Первые сформировались в результате криогенной десерпции, вторые являются следствием криогенной солифлюкции. Поэтому для обозначения генезиса глыбово-щебнисто-суглинистых отложений мы используем термин солифлюкционно-десерпционные накопления, чтобы подчеркнуть их литолого-текстурную индивидуальность и несколько особый механизм формирования, по крайней мере, отсутствие механизма быстрой солифлюкции, присущей суглинистым покровам.

Солифлюкционно-десерпционные накопления весьма неустойчивы к транспортной деструкции и другим антропогенным воздействиям, а также пирогенной денудации. Льдистые породы в наибольшей степени оказались приуроченными к этому типу отложений, что наблюдалось при увеличении доли мелкозема и/или грунтового увлажнения (рис. 2). Для сходных поверхностных накоплений введен термин элювиально-десерпци-

онные образования, которые оказались приуроченными к самым приподнятым частям выровненных вершин. Здесь такие образования имеют наименьшую мощность и выраженную остроугольность обломков (почти несмещенный элювий). Этим накоплениям свойственно активное перемещение в периоды перехода температуры через 0 °С, что заметно по ориентации обломков, им также присуща большая уязвимость к пирогенным нарушениям. Такие участки значительно лучше дренируются, поэтому в данных условиях льдистые породы не были обнаружены.

На рассматриваемой территории отмечен также и третий тип перигляциальных образований, представленный коллювиально-аллювиальными отложениями. Но данные поверхностные накопления не получили здесь широкого распространения, оказавшись приуроченными исключительно к речным гласисо-поймам (участкам аккумулятивных пологонаклонных поверхностей, рядом с руслом рек, затапливаемых во время половодья). Было выявлено, что этот тип поверхностных отложений способствует локализации многолетнемерзлых пород (ММП). Все обследуемые гласисо-поймы оказались с признаками воздействия криогенных процессов (рис. 2).

Выводы для ландшафтно-индикационного картографирования и управления геоэкологическими рисками. Для картографирования мерзлотных геосистем важным представляется рассмотрение корреляционной связи между основными типами перигляциальных образований и льдистостью почвогрунтов. Известно, что в пространственном распространении мерзлотных ландшафтов ключевую роль играет именно литогенный фактор, определяющий состав отложений и условия их формирования [Федоров, 1991]. Так, установлено [Втюрин, 1975; Попов, 1967], что льдистые породы в области распространения высокотемпературной мерзлоты приурочены в основном к районам формирования тонкодисперсных отложений разного генезиса (аллювиально-озерных, делювиальных и др.), т. е. наиболее влагонасыщенным образованиям. Это справедливо только для условий высокотемпературной криолитозоны, тогда как в ее низкотемпературных областях, практически все рыхлые отложения и отчасти скальные грунты отличаются значительной льдистостью [Ракита, 1983]. Отметим, что рассматриваемый район располагается в области высокотемпературной криолитозоны. Поверхностные отложения в местах обнаружения мерзлотных ландшафтов в Среднеенисейском регионе представлены обводненными дисперсными накоплениями различного генезиса [Горшков и др., 1998], что свидетельствует о приоритетной роли литологического фактора в их локализации. Данная корреляционная связь была также подтверждена и в ходе полевых исследований на территории рассматриваемого участка [Медведков, 2014]. Учитывая ландшафтоформирующую роль обводненности, данная особенность отражена в представленной карте (рис. 2). Так, интенсивность (насыщенность) цветовой гаммы отражает степень гидроморфности для каждой из ступеней рельефа, т. е. чем темнее, тем сильнее в облике природных комплексов проявляются признаки гидроморфности (рис. 2, табл. 1 и 2), что позволяет в значительной степени индцировать геосистемы с многолетнемерзлым режимом грунтов. Данная характеристика для условий южной криолитозоны имеет принципиальное значение, поскольку «запас холода» в многолетнемерзлых породах определяется не столько их температурой, сколько энергией кристаллизации подземных льдов, зависящей от влажности почвогрунтов [Ракита, 1983]. Указанный тип межкомпонентных связей целесообразно использовать для картографирования мерзлотных ландшафтов и оценки их состояния.

В этой связи отметим, что важную демаркирующую роль в бассейне Среднего Енисея выполняет южная граница максимального четвертичного оледенения. Данный палеогеографический рубеж разделяет современные природные комплексы на ландшафты ледниковой (т. е. в пределах максимального по размерам покровного оледенения) и внеледниковой (перигляциальной) зон [Medvedkov, 2015]. В ледниковой зоне мерзлотные ландшафты широко распространены в пределах верхнего яруса рельефа, будучи приуроченными к вершинным поверхностям, привершинным склонам, склонам и днищам долин, где дисперсные породы перекрывают выходы траппов. Во внеледниковой зоне

ситуация иная: здесь мерзлотные ландшафты в большей степени приурочены к нижнему ярусу рельефа (за счет повышенной обводненности из-за концентрации поверхностного стока, близкого залегания грунтовых вод и др.). Заметим, что север Енисейского кряжа относится к северной окраине внеледниковой (перигляциальной) зоны [Astakhov, 2019], поскольку край материкового ледника в максимальную фазу его продвижения к югу приходился в области Сибирских увалов и далее на линии, если ее провести на северо-восток от Осиновского порога на р. Енисей. Соответственно, локализация мерзлотных геосистем на этой территории должна проявляться по схеме, типичной для внеледниковой зоны (рис. 2), что и подтвердилось в ходе проведенных изысканий [Медведков, 2014]. Ниже рассмотрим ландшафтообразующую роль двух поверхностей выравнивания и комплекса неярских поверхностей – самых крупных геоморфологических объектов на изучаемой территории.

На хорошо дренируемых поверхностях верхней поверхности выравнивания получила распространение сосново-березовая тайга на торфянистых буротаежных мало-мощных и торфянистых скелетных почвах в связи с преобладанием мало-мощных рыхлых накоплений (от 1–2 м до 2–5 м). По мере увеличения мощности рыхлых отложений, древостой становится более разнообразным – увеличивается значение березы и других хвойных пород, прежде всего, ели и лиственницы. Небольшая мощность рыхлых отложений не только уменьшает мощность почвенного профиля, но и увеличивает дренируемость территории, что не способствует широкому развитию льдистых пород в пределах верхней поверхности выравнивания. Многолетнемерзлые породы локализуются здесь только на участках с замедленным поверхностным стоком и увеличенной долей мелкоземы, преимущественно аллохтонного происхождения.

Противоположные особенности отличают природные комплексы нижней поверхности выравнивания и поверхности наложенной планации, которые характеризуются наличием дисперсных отложений, а также повышенной обводненностью территории. В данных условиях широкое распространение получили высокотемпературные льдистые породы и мерзлотные ландшафты с особой структурой растительного покрова, отличающиеся высокой уязвимостью к любым внешним воздействиям, что требует обязательного учета при хозяйственном освоении этой территории. Такие природные комплексы отчетливо выделяются на картах приповерхностных температур [Медведков, 2016], получаемых по результатам обработки тепловых инфракрасных снимков. Данные геосистемы визуально наиболее заметны в условиях островного и массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород, к которым и относится искомый район исследования. Здесь контраст лесорастительных условий дифференцировано отражается и на термических характеристиках ландшафтов, выполняющих роль индикаторов при картографировании мерзлотных геосистем.

ВЫВОДЫ

Межкомпонентные связи, обеспечивая функциональное единство природного комплекса, определяют в условиях горной криолитозоны возможность использования геолого-геоморфологических данных для картографирования мерзлотных ландшафтов и разработки мероприятий по их охране. Выявлено, что льдистые породы в своем распространении приурочены к солифлюкционно-десерпционным и коллювиально-аллювиальным отложениям. Данные накопления весьма неустойчивы к транспортной деструкции, особенно это актуально для солифлюкционно-десерпционных отложений. Элювиально-десерпционным образованиям свойственно активное перемещение в периоды перепада температуры воздуха через 0 °С, ввиду лучшей дренированности их также отличает и большая уязвимость к пирогенным нарушениям. Указанные особенности необходимо учитывать при разработке специальных мер по охране природы, как на стадии проектирования техногенных объектов, так и в ходе их дальнейшей эксплуатации с целью управления геоэкологическими рисками в криолитозоне.

Мерзлотные ландшафты требуют более внимательного и осторожного отношения к ним при их хозяйственном освоении. Так, на уровне ландшафтных урочищ

наличие льдистых пород наиболее типично для гласисо-поймы крупных и малых рек (в пределах долинно-днищевого комплекса наложенной планации), а также низких межвершинных поверхностей (в пределах нижнего уровня поверхности выравнивания). Мерзлотные геосистемы хорошо индуцируются по редкостойной темнохвойной тайге с примесью лиственницы и березы на торфяно-мерзлотных аллювиально-болотных и торфяно-мерзлотных буротаежных почвах. Данный тип природных комплексов типичен для многолетнемерзлого режима грунтов и других частей Среднеенисейского региона.

Анализ строения рельефа и поверхностных отложений позволяет формировать основу для выявления участков территории с серьезными ограничениями по их хозяйственному освоению. Представленная в статье методика имеет перспективы реализации в других регионах, характеризующихся длительной денудацией и слабым проявлением неотектоники. Это особенно актуально для условий горной криолитозоны, где денудационные процессы при нарушении растительности протекают более активно, а уязвимость геосистем к антропогенному воздействию выражена более заметно.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-77-00048, <https://rscf.ru/project/21-77-00048/>.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Science Foundation, grant No. 21-77-00048, <https://rscf.ru/project/21-77-00048/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Викторов А.С.* Рисунок ландшафта. М.: Мысль, 1986. 179 с.
2. *Волков И.А., Кривоногов С.К.* Научные и методические принципы изучения и картографирования геолого-геоморфологической основы ландшафта. Геология и геофизика, 1994. Т. 35. № 4. С. 44–49.
3. *Воробьев И.В., Горшков С.П.* Перигляциальные образования севера Енисейского кряжа и запада Сибирской платформы. Вестник МГУ. Серия геология, 1975. № 5. С. 51–59.
4. *Втюрин Б.И.* Подземные льды СССР. М.: Наука, 1975. 214 с.
5. Геокриологическая карта СССР масштаба 1:2 500 000. Мингео СССР, Гидроспецгеология, МГУ. М.: ГУГК, 1991. 16 л.
6. *Горшков С.П., Ванденберг Дж., Алексеев Б.А., Мочалова О.И., Тишкова М.А.* Климат, мерзлота и ландшафты Среднеенисейского региона. М.: МГУ, 2003. 90 с.
7. *Горшков С.П.* О генезисе и возрасте склоновых глыбово-щебнисто-суглинистых отложений севера Енисейского кряжа и северо-запада Восточного Саяна. Доклады АН СССР, 1967. Т. 172. № 3. С. 665–668.
8. *Горшков С.П., Барков В.В.* Принципиальная основа легенды для аналитических геоморфологических карт консолидированных областей сноса Приенисейской части Сибири. Геоморфологическое картографирование в съемочных масштабах. М.: МГУ, 1975. С. 143–152.
9. *Горшков С.П., Карраш Х., Парамонов А.В.* Геоморфологическая индикация мерзлотных и немерзлотных ландшафтов средней тайги Центральной Сибири. Геоморфология, 1998. № 4. С. 55–61.
10. Комплекс дистанционных методов при геологическом картировании таежных районов. Методическое пособие. Л.: Недра, 1978. 246 с.
11. *Корниенко С.Г.* Методика оценки льдистости мерзлых грунтов по данным дистанционного зондирования в видимом и инфракрасном диапазоне. Исследование Земли из космоса, 2012. № 5. С. 75–84.
12. *Крауклис А.А.* Проблемы экспериментального ландшафтоведения. Новосибирск: Наука, 1979. 232 с.

13. *Медведков А.А.* Картографирование криогенных ландшафтов на основе анализа тепловых снимков. *ИнтерКарто. ИнтерГИС*, 2016. Т. 22. № 1. С. 380–384. DOI: 10.24057/2414-9179-2016-1-22-380-384.
14. *Медведков А.А.* Опыт ландшафтно-геоэкологического картографирования участка «Верхняя Чапа» (Север Енисейского кряжа). *Известия РАН. Серия географическая*, 2014. № 1. С. 94–99. DOI: 10.15356/0373-2444-2014-1-94-99.
15. *Медведков А.А., Котова М.В.* Противопожарный потенциал лесов водоохранной зоны озера Байкал (на примере территории Байкало-Ленского заповедника). *Известия РАН. Серия географическая*, 2020. Т. 84. № 5. С. 764–775. DOI:10.31857/S2587556620050118.
16. *Попов А.И.* Мерзлотные явления в земной коре (криолитология). М.: МГУ, 1967. 302 с.
17. Развитие рельефа и его устойчивость. М.: Наука, 1993. С. 17–30.
18. *Ракита С.А.* Природа и хозяйственное освоение Севера. М.: МГУ, 1983. 190 с.
19. *Солнцев Н.А.* Учение о ландшафте: избранные труды. М.: МГУ, 2001. 384 с.
20. *Татауров С.Б.* Трансформация и переработка золотосодержащего сырья в криолитозоне. М.: Горная книга, 2008. 318 с.
21. *Федоров А.Н.* Мерзлотные ландшафты Якутии: методика выделения и вопросы картографирования. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО СССР, 1991. 140 с.
22. *Хорошев А.В.* Полимасштабная организация географического ландшафта. М.: КМК, 2016. 416 с.
23. *Astakhov V.I.* Quaternary glaciotectonics of the Ural-Siberian North. *Russian Geology and Geophysics*, 2019. № 12. pp. 1353-1367. DOI: 10.15372/RGG2019136.
24. *Kalinicheva S.V., Fedorov A.N., Zhelezniak M.N.* Mapping Mountain Permafrost Landscapes in Siberia Using Landsat Thermal Imagery. *Geosciences*, 2019. V. 9. No. 1: 4. DOI: 10.3390/geosciences9010004.
25. *Medvedkov A.A.* Response of middle-taiga permafrost landscapes of Central Siberia to global warming in the late 20th and early 21st centuries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016. V. 48. 012009. DOI:10.1088/1755-1315/48/1/012009.
26. *Medvedkov A.A.* Geoenvironmental Response of the Yenisei Siberia Mid-Taiga Landscapes to Global Warming during Late XX–Early XXI Centuries. *Water Resources*, 2015. V. 42. No. 7. P. 922–931. DOI: 10.1134/S0097807815070076.

REFERENCES

1. A complex of remote methods for geological mapping of taiga areas. Methodical manual. Leningrad: Nedra, 1978. 246 p. (in Russian).
2. *Astakhov V.I.* Quaternary glaciotectonics of the Ural-Siberian North. *Russian Geology and Geophysics*, 2019. № 12. pp. 1353-1367. DOI: 10.15372/RGG2019136.
3. Development of relief and its stability. Moscow: Nauka, 1993. pp. 17-30. (in Russian).
4. *Fedorov A.N.* Permafrost landscapes of Yakutia: allocation methodology and mapping issues. Yakutsk: Institute of Permafrost Studies of the USSR, 1991. 140 p. (in Russian).
5. Geocryological map of the USSR scale 1:2 500 000. Mingeo USSR, Hydrospetsgeology, MSU. Moscow: GUGK, 1991. 16 p. (in Russian).
6. *Gorshkov S.P.* On the genesis and age of the slope blocky-gravelly-loamy deposits of the north of the Yenisei Ridge and the north-west of the Eastern Sayan. *Reports of the USSR Academy of Sciences*, 1967. V. 172. No. 3. P. 665–668 (in Russian).
7. *Gorshkov S.P., Barkov V.V.* The fundamental basis of the legend for analytical geomorphological maps of consolidated areas of demolition of the Yenisei part of Siberia. *Geomorphological mapping on a survey scale*. Moscow: MSU, 1975. P. 143–152 (in Russian).
8. *Gorshkov S.P., Karrash H., Paramonov A.V.* Geomorphological indication of permafrost and non-permafrost landscapes of the middle taiga of Central Siberia. *Geomorphology*, 1998. No. 4. P. 55–61 (in Russian).
9. *Gorshkov S.P., Vandenberg J., Alekseev B.A., Mochalova O.I., Tishkova M.A.* Climate, permafrost and landscapes of the Middle Yenisei region. Moscow: MSU, 2003. 90 p. (in Russian)

10. *Kalinicheva S.V., Fedorov A.N., Zhelezniak M.N.* Mapping Mountain Permafrost Landscapes in Siberia Using Landsat Thermal Imagery. *Geosciences*, 2019. V. 9. No. 1: 4. DOI: 10.3390/geosciences9010004.
 11. *Khoroshev A.V.* Multi-scale organization of the geographical landscape. Moscow: KMK, 2016. 416 p. (in Russian).
 12. *Kornienko S.G.* Methodology for assessing the iciness of frozen soils according to remote sensing data in the visible and infrared range. *Earth Exploration from Space*, 2012. No. 5. P. 75–84. (in Russian).
 13. *Krauklis A.A.* Problems of experimental landscape studies. Novosibirsk: Nauka, 1979. 232 p. (in Russian).
 14. *Medvedkov A.A.* Experience of landscape-geoecological mapping of the Upper Chapa section (North of the Yenisei Ridge). *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 2014. No. 1. P. 94-99 (in Russian). DOI: 10.15356/0373-2444-2014-1-94-99.
 15. *Medvedkov A.A.* Mapping of permafrost landscapes based on the analysis of thermal images. *InterCarto. InterGIS*, 2016. V. 22. No. 1. P. 380–384 (in Russian). DOI: 10.24057/2414-9179-2016-1-22-380-384.
 16. *Medvedkov A.A.* Response of middle-taiga permafrost landscapes of Central Siberia to global warming in the late 20th and early 21st centuries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016. V. 48. 012009. DOI:10.1088/1755-1315/48/1/012009.
 17. *Medvedkov A.A.* Geoenvironmental Response of the Yenisei Siberia Mid-Taiga Landscapes to Global Warming during Late XX–Early XXI Centuries. *Water Resources*, 2015. V. 42. No. 7. P. 922–931. DOI: 10.1134/S0097807815070076.
 18. *Medvedkov A.A., Kotova M.V.* Fire-Fighting Capability of Forests in Water Protection Zone of Lake Baikal (Case Study of Baikal-Lena Nature Reserve). *News of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*, 2020. V. 84. No. 5. pp. 764-775 (in Russian). DOI: 10.31857/S2587556620050118.
 19. *Popov A.I.* Permafrost phenomena in the Earth's crust (cryolithology). Moscow: MSU, 1967. 302 p. (in Russian).
 20. *Rakita S.A.* Nature and economic development of the North. Moscow: MSU, 1983. 190 p. (in Russian).
 21. *Solntsev N.A.* The doctrine of landscape: selected works. Moscow: MSU, 2001. 384 p. (in Russian).
 22. *Tataurov S.B.* Transformation and processing of gold-containing raw materials in the cryolithozone. Moscow: Gornaya kniga, 2008. 318 p. (in Russian).
 23. *Viktorov A.S.* Landscape drawing. Moscow: Mysl, 1986. 179 p. (in Russian).
 24. *Volkov I.A., Krivonogov S.K.* Scientific and methodological principles of study and mapping of the geologo-geomorphological basis of landscape. *Geology and Geophysics*, 1994. V. 35. No. 4. P. 44–49. (in Russian).
 25. *Vorobyev I.V., Gorshkov S.P.* Periglacial formations of the north of the Yenisei Ridge and the west of the Siberian platform. *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*, 1975. No. 5. P. 51–59. (in Russian).
 26. *Vtyurin B.I.* Underground ice of the USSR. Moscow: Nauka, 1975. 214 p. (in Russian).
-