

## ИЗУЧЕНИЕ ЛАНДШАФТНОЙ СТРУКТУРЫ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ТЕРРИТОРИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ЛАБЫНКЫР)

Обутов К.А., Дегтева Ж.Ф., Данилов Ю.Г.

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск,  
e-mail: obutovkirill@gmail.com

В данной статье на примере окрестностей озера Лабынкыр Республики Саха (Якутия) рассматривается проблема изучения ландшафтной структуры труднодоступных территорий. Выделяются и описываются характерные особенности природы уникального озера Лабынкыр. С позиции дифференциации ландшафтной структуры производится анализ вегетационных индексов. Представлен результат использования NDVI (Нормализованный индекс разницы растительности), TVI (Трансформированный вегетационный индекс), NRVI (Нормализованное соотношение индекса растительности), MTVI2 (Модифицированный треугольный индекс растительности – улучшенный), MSAVI2 (Модифицированный индекс растительности с коррекцией по почве – 2). Применяется методика, основанная на опыте исследований схожих по труднодоступности территорий и использующая калькулятор растров программного обеспечения QGIS в совокупности с данными о крутизне склонов, полученных с помощью цифровой модели. Особое внимание уделяется особенностям рельефа, так как он является одним из ведущих факторов формирования типа местности. Выделяются и описываются характерные особенности пяти типов местности исследуемой территории: склоновый делювиально-солифлюкционный, склоновый делювиально-коллювиальный, моренный (предгорный моренный), горно-долинный, ледниково-долинный. На основании анализа собранного полевого материала, а также привлечения методов дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий выявлена пространственная организация ландшафтов и представлена картосхема.

**Ключевые слова:** ландшафтная структура, озеро Лабынкыр, ГИС, вегетационные индексы, типы местности, ландшафтная структура

## STUDY OF THE LANDSCAPE STRUCTURE OF HARD-TO-REACH TERRITORIES USING GIS TECHNOLOGIES (USING THE EXAMPLE OF LAKE LABYNKYR)

Obutov K.A., Degteva Zh.F., Danilov Yu.G.

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk,  
e-mail: obutovkirill@gmail.com

In this article the problem of studying the landscape structure of inaccessible territories is considered on the example of the neighbourhood of Lake Labynkyr in the Republic of Sakha (Yakutia). The characteristic features of the nature of the unique Lake Labynkyr are highlighted and described. From the position of landscape structure differentiation vegetation indices are analysed. The result of using NDVI (Normalised Difference Vegetation Index), TVI (Transformed Vegetation Index), NRVI (Normalised Ratio Vegetation Index), MTVI2 (Modified Triangular Vegetation Index – improved), MSAVI2 (Modified Soil Corrected Vegetation Index – 2) is presented. The methodology used is based on the experience of studies of areas of similar inaccessibility and uses the raster calculator of QGIS software in combination with slope steepness data obtained from the digital model. Particular attention is paid to the features of the relief, as it is one of the leading factors in the formation of the type of terrain. Characteristic features of five terrain types of the study area are identified and described: slope deluvial-solifluctional, slope deluvial-colluvial, moraine (foothill moraine), mountain-valley, glacial-valley. Based on the analysis of the collected field material, as well as the use of remote sensing methods and geoinformation technologies, the spatial organisation of landscapes was revealed and a map scheme was presented.

**Keywords:** landscape structure, lake Labynkyr, GIS, vegetation indexes, terrain types, landscape structure

Проведение комплексных полевых исследований труднодоступных территорий всегда было связано со значительными материальными и трудовыми издержками. Поэтому в настоящее время наряду с полевыми исследованиями широко применяются методы дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий.

Изучение ландшафтной структуры окрестностей оз. Лабынкыр заслуживает особого внимания. Озеро имеет природную и куль-

турно-историческую ценность, включено в реестр особо охраняемых природных территорий. Информация, полученная в ходе комплексных ландшафтных исследований, универсальна и может быть использована при проведении экологического мониторинга с целью сохранения уникального оз. Лабынкыр в естественном состоянии.

Озеро Лабынкыр расположено в юго-восточной части республики Саха (Якутия) на юге Оймяконского плоскогорья. Эту тер-

риторию часто называют плато Сордоннох. Расположено между хребтами Сунтар-Хаята и Тас-Кыстабыт, в бассейне верхнего течения р. Индигирка. Озеро Лабынкыр имеет ледниково-тектоническое происхождение и расположено в одноименной впадине, глубина, по некоторым сведениям, достигает 78 м. Озеро проточное, из него впадает и затем вытекает река Лабынкыр, урез воды 1011 м. Впадина окружена низковвысотными увалами, имеющими среднюю высоту 200–300 м, переходящими на южной окраине озера в среднегорные массивы высотой до 1500–1600 м.

Ведущая роль в создании крупных морфоструктур принадлежит неотектоническим поднятиям, в связи с чем наибольшую площадь в районе исследования занимает выработанный рельеф, сформировавший горные массивы. Вторая генетическая категория – аккумулятивный рельеф – формируется в пределах долин и межгорных впадин. Во впадинах преобладает речная и озерно-речная аккумуляция, в горах и предгорьях – ледниковая [1].

На исследуемой территории существенное влияние на морфологию долин оказали два горно-долинных оледенения: юглерское и хетакагчанское [1]. Экзарационной деятельностью ледников образованы, в частности, днища и плечи троговых долин. Наиболее ярко это выражено в верхнем течении (до впадения в озеро) одноименной реки. Аккумуляционный рельеф сформирован в долинах рек и ручьев (аллювиальные отложения) и в самой Лабынкырской впадине, где преобладают моренные и водно-ледниковые отложения.

Ледниковые (морены), гравитационно-склоновые и разнообразные фации криолитогенных отложений сложены преимущественно сильнометаморфизованными кремнистыми алевролитами и роговиками, реже – гранитоидами и метасоматитами. Устойчивость к истиранию широко развитых здесь кремнистых пород определила наличие в этом районе большого числа обработанных ледниками скальных морфоскульптур: коренные выходы днища долины; ригели; отполированные ледником и практически лишенные обломочного чехла борта долины (экзарационные полосы); пропиленные в коренных породах каналы ледникового стока [2]. В днищах котловин и долин накопилось достаточное количество валунно-галечного материала с суглинистым, супесчаным и песчаным заполнителем, в понижениях – суглинки, супеси, местами с торфяным покровом [3].

Повсеместно развита многолетняя мерзлота, что определяет наличие термокарстового рельефа, криогенно-эрозионных и солифлюкционных процессов.

В нижней части склонов преобладают ландшафты низкорослого лиственничного редколесья, сильно заболоченного; на южном склоне фрагментарно встречаются участки степных ландшафтов; выше 1200 м – ландшафты горной тундры. В пределах Лабынкырской впадины доминирующими типами являются мерзлотные торфяные, мерзлотные дерново-, перегнойно- и торфяно-глеевые почвы [4]. Особый колорит горам Северо-Востока придают заросли кедрового стланика и березы Миддендорфа в верхней части подгольцового пояса и особый комплекс горно-пойменной растительности с чозенией крупночешуйчатой, крупными ивами: аляскинской, Шверина, боганидской и колосниковыми лугами [4, 5]. С ландшафтной точки зрения это Сунтар-Хаятинская среднегорная провинция Северо-Востока Сибири физико-географической страны [6].

Цель исследования – проанализировать ландшафтную структуру окрестностей озера Лабынкыр с использованием многозональных снимков. Определить вегетационные индексы, их сочетание с цифровой моделью рельефа, крутизны склонов и других косвенных характеристик для наиболее достоверной визуализации выделов, полученных при полевых исследованиях.

### Материалы и методы исследования

Для выявления пространственной структуры ландшафтов горных территорий окрестностей озера Лабынкыр на уровне типов местности, были проанализированы находящиеся в открытом доступе, снимки миссий Sentinel и Landsat, имеющие широкий спектральный диапазон и проведены полевые исследования на ключевых участках исследуемой территории.

Полевой метод исследования заключался в сборе полевых материалов и комплексном описании ключевых участков (рис. 1). Затем результаты полевых наблюдений распространялись на всю картографируемую территорию методами аналогов.

В дополнение к полевым методам исследований был сделан упор на использование данных дистанционного зондирования с разрешением 10–30 м. спутников Sentinel-2, с уровнем обработки 2B, загруженные с платформы Sci-Hub и Landsat-8 американского космического агентства, данные с обоих спутников датируются 20 июня 2023 г., что совпадает с датой полевых исследований.



Рис. 1. Полевые ландшафтные исследования, оз. Лабынкыр (фото автора)

Одним из способов выявления контуров ландшафтов является совокупное использование цифровой модели рельефа, карты крутизны склонов и вегетационных индексов – весь этот набор разносторонних данных широкого спектрального диапазона позволяет проводить картографирование в достаточно крупном масштабе. Методика основана на опыте исследования схожих по труднодоступности территорий [7, 8] и использует калькулятор растров ПО «QGIS» в совокупности с данными о крутизне склонов, полученных с помощью цифровой модели. Помимо этого авторами были применены вегетационные индексы NDVI, TVI, NRVI, MTVI2, MSAVI2.

**NDVI** (Нормализованный индекс разницы растительности) широко используется во многих работах [9–11], рассчитывает объем растительности путем количественного определения разницы между NIR (инфракрасным), который сильно отражается растительностью, и R (красным), который, напротив, поглощается растительностью, используя следующую формулу:

$$NDVI = \left( \frac{NIR - R}{NIR + R} \right). \quad (1)$$

**NRVI** (Нормализованное соотношение индекса растительности) – это нормали-

зованная версия RVI (2), (3), преимущество данного индекса заключается в сведении к минимуму влияния топографии, атмосферы и количества света. Подобно NDVI, высокие значения характерны для густой здоровой растительности, тогда как низкие – для почвы и льда, что особенно полезно в условиях сурового климата, когда даже в летнее время наблюдается лед в прибрежных участках.

$$RVI = \frac{R}{NIR}, \quad (2)$$

$$NRVI = \frac{(RVI - 1)}{(RVI + 1)}. \quad (3)$$

**MSAVI2** (Модифицированный индекс растительности с коррекцией по почве – 2). Данный индекс (5) является модифицированной версией SAVI (4) и создан для минимизирования влияния яркости почвы с помощью коэффициента коррекции этой самой почвы. Выбран он был в связи с тем, что в горной и предгорной местности покров может быть разрежен и фактор почвы может оказывать помеху.

$$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R - L)} \times (1 + L), \quad (4)$$

$$MSAVI2 = \frac{2 \times (NIR + 1) - (2 \times NIR + 1)^2 - 8 \times (NIR \times R)}{2}, \quad (5)$$

где  $L = [0; 1]$ ,  $L = 0$  для наибольшего индекса облиствения,  $L = 1$  для наименьшего, оптимальное значение  $L = 0.5$ .

При его вычислении используется итеративный процесс, и 1-MSAVI(n-1) подставляется вместо фактора L в формулу подсчета MSAVI(n). Этот процесс повторяется до тех пор, пока не будет выполнено условие

$$MSAVI(n-1) = MSAVI(n).$$

**TVI** (Трансформированный вегетационный индекс). Уменьшает почвенный шум, ценой уменьшения динамического диапазона индекса, он немного менее чувствителен к изменению растительного покрова, чем

NDVI, что в конечном итоге может быть лучше для картографических результатов. Получается данный индекс из квадратного корня от NDVI:

$$TVI = \sqrt{(NDVI + 0.5)}. \quad (6)$$

**MTVI2** (Модифицированный треугольный индекс растительности – улучшенный) – комбинация спектральных полос, используемый для оценки индекса площади листа, по следующей формуле:

$$MTVI2 = \frac{1.5 \times (1.2 \times (NIR - Green) - 2.5 \times (Red - Green))}{\sqrt{((2 \times NIR + 1)^2 - (6 \times NIR - 5 \sqrt{Red}) - 0.5)}}. \quad (7)$$

Индекс MTVI2 очень чувствителен к изменениям структуры листьев и кроны, уменьшение значения индекса свидетельствует о меньшем соотношении площади листьев к площади земли, тогда как увеличение свидетельствует о разрастании кроны дерева [12].



Рис. 2. Цифровая модель рельефа  
Источник: составлено авторами

Но для более высокого качества классификации также необходима обязательная поправка на рельеф и температуру поверхности. Для чего на основе термальных инфракрасных каналов спутника Landsat-8 создается карта приповерхностных температур как опора, так как температура – очень важный элемент режима растительных ассоциаций. Также в ходе работ на основе гидрологически скорректированной MERIT DEM [13]

была построена цифровая модель рельефа (рис. 2) и рассчитана крутизна склонов с помощью соответствующего инструмента, что является фундаментальным материалом для многих физико-географических исследований, так как зачастую рельеф местности является решающим фактором в установлении режима влажности и температуры и, следовательно, типов местности.

Следующим шагом было вычисление индекса различий увлажненности (NDMI) создание карты температуры земной поверхности. Стандартизованный индекс различий увлажненности (NDMI) чувствителен к уровню влажности в растительности, рассчитывается как соотношение между NIR и SWIR:

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}, \quad (8)$$

где NIR – ближний инфракрасный, а SWIR – коротковолновый инфракрасный диапазоны.

Выбор представленных вегетационных индексов мотивирован целью исследования и общими географическими условиями региона. Исследование продемонстрировало применимость QGIS и IDRISI для мониторинга окружающей среды. В частности, была представлена визуализация различных индексов с помощью мультиспектральных снимков Sentinel-2. Спутниковые изображения, показывающие различные условия растительности (горная, покрытая льдом, песчаная и каменистая местность, леса, прибрежные районы), охватывающие окружающую территорию оз. Лабынкыр, были обработаны для тестирования пяти ВИ: NDVI, NRVI, TVI, MTVI и MSAVI2.

Эти индексы сравнивались на предмет изменений их чувствительности к условиям растительности.

В итоге было выбрано совместное использование индексов NDVI и MTVI2 в совокупности с картой крутизны склонов, индексом различий увлажненности и картой приповерхностных температур. Весь этот набор данных должен позволить совершить наиболее достоверное картирование типов ландшафтов окрестностей оз. Лабынкыр.

### Результаты исследования и их обсуждение

В общей картине выходные данные индексов NDVI и NRVI весьма схожи ввиду схожести формул, но различия есть, и их можно объяснить контрастом между полосами R и NIR для растительности в обоих индексах (рис. 3), а именно тем, что канал, использующий NIR, больше зависит от структуры листа. NDVI – это самый доступный и универсальный индекс, который может быть использован практически при любых условиях. Полученные значения имеют диапазон от -1 до 0,64. Заснеженные территории и покрытые льдом водоемы имеют самые низкие значения, в то время как высокие значения указывают на густой полог. В случае NRVI высокие значения индекса вызваны сочетанием значений отражательной способности: низкий R (хлорофилл) и высокий NIR (структура листа).

Вегетационные индексы MSAVI2, TVI, MTVI2 также имеют свои особенности (рис. 4). Результаты расчетов MSAVI2 показыва-

ют набор данных в диапазоне от 0,49 до 1,36. Столь небольшой диапазон данных можно объяснить спецификой алгоритма: коэффициент корректировки почвы зависит от густоты растительности, следовательно, чем выше плотность, тем выше фактические значения. Преимущества данного индекса заключаются в более отчетливом выделении растительности в местах низкой плотности зеленого покрова, что особенно заметно в горных частях и при высокой крутизне склона. Результаты расчетов TVI показывают диапазон данных от 0,47 до 0,98, результаты крайне схожи с NDVI, но его отличие заключается в более детальном выделении вершин горных участков, что особенно заметно на юго-востоке исследуемой территории. Индекс MTVI2 оказался более информативным – он очень чувствителен к изменениям структуры листьев и кроны, как можно увидеть на моренных ландшафтах, индекс показывает относительно меньшие значения. Отсюда следует, что уменьшение значения индекса свидетельствует о меньшем соотношении площади листьев к площади земли, тогда как увеличение свидетельствует о разрастании кроны дерева. Так как индекс MTVI2 устойчив к влиянию почв и изменению концентрации фотосинтетических пигментов [14], места с низкими значениями (более белые) имеют низкое соотношение растительности к площади, места с высокими значениями (синие) – высокое соотношение растительности к площади, красный цвет означает крайне малое количество растительности или вовсе ее отсутствие.

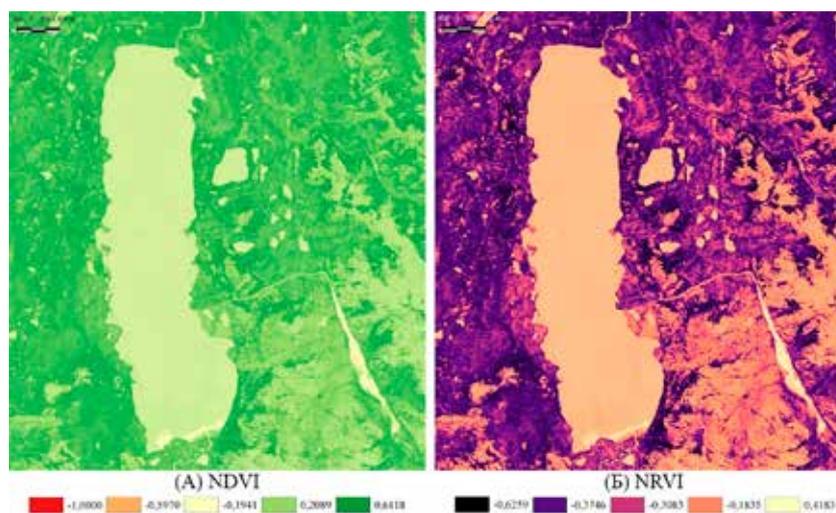


Рис. 3. Вегетационные индексы NDVI и NRVI  
Источник: составлено авторами

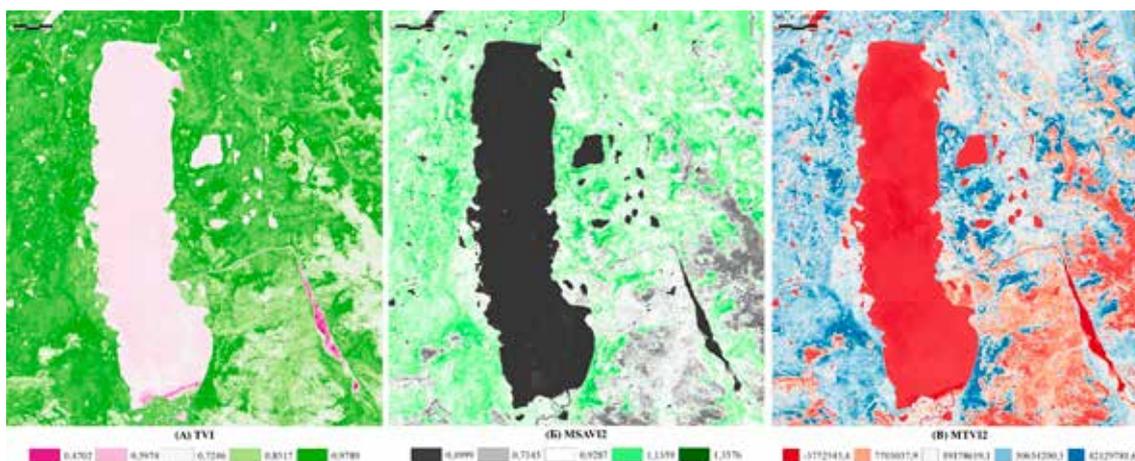


Рис. 4. Вегетационные индексы MSAVI2, TVI, MTVI2  
 Источник: составлено авторами



Рис. 5. Типы местности района исследования

Условные обозначения типов местности:  
 I – склоновый делювиально-солифлюкционный,  
 II – склоновый делювиально-коллювиальный,  
 III – моренный (предгорный моренный),  
 IV – горно-долинный,  
 V – ледниково-долинный,  
 VI – водные объекты  
 Источник: составлено авторами

В целом представленные вегетационные индексы продемонстрировали численную корреляцию с распределением и площадями растительности. Между ними наблюдались различия в отношении каменистых участков, лугов и отдельных лесных районов. Индексы NRVI и TVI имеют слишком мало отличий от универсального

NDVI, и их преимущества лежат в другой плоскости от целей исследования. Индексы MSAVI2 и MTVI2 показали определенный результат. MTVI2 дает возможность более детально определить контуры типов местности, MSAVI2, опираясь на цвет и влажность почв и грунтов, помогает оценить состояние растительности и сопоставить с полученными результатами при полевых исследованиях.

Проведение натурных обследований территории и изучение прибрежных территорий оз. Лабынкыр дистанционными методами позволило выявить закономерности пространственной дифференциации ландшафтов (рис. 5).

На исследуемой территории выражены 5 типов местности.

**Моренный (предгорный моренный) тип местности** занимает наибольшие территории на рассматриваемой территории. В основании лежат ледниковые отложения (г III) полупокровного оледенения. Представлены они в основном суглинками с глыбами, валунами и щебнем, песками с галькой, которые маломощным чехлом (до 20 м) покрывают водоразделы и пологие склоны бортов долин. На валунах и глыбах отчетливо видны следы ледниковой препарации. Нередко встречаются линзовидные прослойки дресвянисто-гравелистых песков. В рельефе занимают холмисто-увалистые поверхности подгорных ледниково-аккумулятивных шлейфов, распространены на древних денудационных поверхностях с абсолютными отметками 1500–2000 м и 900–1200 м. В нижних частях шлейфов преобладает валунно-галечный материал с суглинистым,

супесчаным и песчаным заполнителем, в понижениях – суглинки, супеси, местами с торфяным покровом [3].

Большей частью это слабовсхолмленные поверхности с озерами и котловинами, характерные для наиболее широко распространенных моренных отложений юглерского горно-долинного оледенения. Эти поверхности расчленены густой сетью мелких ложбин и промоин, образованных временными водотоками. Валы конечных и боковых морен этого оледенения подвергнуты значительной денудации. Менее распространен рельеф ледниковых образований хетакаганского оледенения, морены которого от юглерских отличаются лучшей сохранностью, большей всхолмленностью, хорошо сохранившимися формами валов конечных морен [1]. Размеры валов колеблются до 0,5×2 км, высота достигает 10–15 м. С внешней стороны они крутые и имеют прямой профиль, а с внутренней – выположенные, вогнутые. Валы боковых морен сохранились вдоль склонов. Наиболее крупные из них протягиваются на 1,5–2 км и имеют высоту до 5–7 м [1]. Нередко морены подпруживают озера. Вероятно, морена частично подпрудила и оз. Лабынкыр с северо-западной стороны его северной оконечности. Здесь ее мощность достигает 60 м.

Растительность в верхней части склонов представлена горными тундрами и кустарничково-зеленомошно-лишайниковыми зарослями на горнотундровых перегнойно-глеевых и глееватых почвах. На более низком уровне преобладают листовенничные редколесья: на дренированных участках кустарничково-лишайниковые, в пониженных – ерниковые кустарничково-зеленомошные и сфагновые в сочетании с ерниками. Под ними сформировались мерзлотные северотаежные перегнойно-глеевые почвы в сочетании с торфянисто- и торфяно-болотными по понижениям.

**Склоновый делювиально-солифлюкционный тип местности** сформировался на подножьях увалов, окружающих озерную котловину, представляющих собой пологоволнистые склоны. Они заняты листовенничными редколесьями ерниковыми бруснично-лишайниковыми в сочетании с кустарничково-лишайниково-зеленомошными зарослями на горных мерзлотных северотаежных типичных, местами оглеенных почвах на щебнистых супесях и суглинках. Также развиты холмисто-увалистые поверхности подгорных ледниково-аккумулятивных шлейфов.

Растительность представлена листовенничными редколесьями, на возвышенных участках кустарничково-лишайниковыми, в пониженных – ерниковыми кустарничково-зеленомошными и сфагновыми в сочетании с ерниками. Под ними сформировались мерзлотные северотаежные перегнойно-глеевые в сочетании с торфянисто- и торфяно-болотными почвами.

Выше по склону развиты осыпные и солифлюкционные склоны крутизной 15–20° с листовенничными редианами лишайниковыми, переходящими в заросли кедрового стланика, и горные тундры кустарничково-зеленомошно-лишайниковые. Почвы преимущественно горнотундровые перегнойно-глеевые и глееватые [4].

На склонах южной экспозиции фрагментарно встречаются остепненные участки. В их травостое преобладают злаки: типчак (*Festuca lenensis*), тонконог (*Koeleria gracilis*), овсец (*Helictotrichon krylovii*), мятлик (*Poa dahurica*), ковыли, осоки (*Carex duriuscula* и *C. korshinskyi*), кобрезия (*Kobresia filifolia*) и довольно богатое разнотравье из полыни (*Artemisia*), вероники (*Veronica*), прострела (*Pulsatilla*), лапчаток (*Potentilla*), зонтичных [4].

По своему облику степные участки области напоминают степи Центральной Якутии: в середине лета они также выгорают и приобретают безжизненный вид. По мнению ботаников, степные растения появились здесь в ксеротермический период и сохранились до настоящего времени благодаря условиям сухого и достаточно теплого лета. Интересно, что степные сообщества нередко встречаются в совершенно чуждой для них обстановке, например рядом с зарослями кедрового стланика или небольшого болотца, прикрепившегося на пологом склоне [4].

В засушливых условиях содержание влаги в почве является основным фактором, определяющим состав, строение и распределение луговых ценозов по элементам рельефа, а также и их продуктивность. Несмотря на небольшое количество осадков, здесь широко развиты заболоченные, избыточно увлажненные луга, что связано с плохим дренажем, развитием мохового покрова, а также с близким залеганием к поверхности водонепроницаемого мерзлого грунта [4, 15].

**Склоновый делювиально-коллювиальный тип местности** развит на среднегорных массивах в южной части котловины. Высоты здесь достигают до 1400–1600 м,

склоны преимущественно достаточно крутые (до 30–40°), выпуклые или прямые и покрыты крупноглыбовыми осыпями, расчленены V-образными распадками с крутым, нередко ступенчатым продольным профилем с глубоким эрозионным врезом, с водопадами высотой до первых метров. Местами встречаются отпрепарированные массивы интрузий, вершинные поверхности которых сглаженные, широкие, уплощенные. Они также покрыты крупноглыбовыми осыпями, в нижней трети залесены, осложнены мерзлотно-нивационными формами гольцовой планации – нагорными террасами и курумами и увенчаны, как и вершинные поверхности, денудационными останцами причудливых очертаний – кисильяками [1]. Эрозионная расчлененность умеренная.

Растительность представлена преимущественно зарослями кедрового стланика кустарничково-лишайниковыми и мертвopoкpoвными; лишайниковыми и кустарничковыми горными тундрами. Под ними формируются подбуры тундровые оподзоленные, сильно-щебнистые смытые; местами горно-гольцовые. Материнскими породами служат глыбово-щебнистые отложения, местами с большим содержанием мелкозема. Распространены курумы, в затененных местах встречаются перелетовывающие снежники.

**Ледниково-долинный тип местности** занимает днища троговых долин. Является интразональным типом горно-тундрового ландшафта сплошного распространения многолетнемерзлых пород с подрусловыми таликами.

На рассматриваемой территории – это долина р. Лабанкыр до впадения ее в озеро, участки верхнего течения ручьев Лабанкырский и Загорный. Представляют собой типичные троговые долины с плоским или полого-вогнутым, достаточно широким днищем и крутыми вогнутыми в нижней части склонами. Следы ледниковой экзарации выражены бороздами, углублениями и пришлифовкой выступов пород [1].

Продольный профиль долин имеет ступенчатую форму, обусловленную чередованием переуглубленных участков – бассейнов выпаживания, которые служат ваннами озер или местами расширения долин с наледями [1].

Лабанкырская котловина представляет собой тектоническое образование, обработанное древними ледниками.

Поверхностные отложения представлены валунно-галечным материалом с сугли-

нистым, супесчаным и песчаным заполнителем, в понижениях – суглинки, супеси, местами с торфяным покровом [3]. Распространены мерзлотные пойменные торфянисто- и торфяно-болотные почвы. Растительность представлена заболоченными тундрами пушицево-моховыми кочкарными и ерниковыми, ерnikoвo-ивняковыми зеленомошными. На надпойменных террасах и останцах произрастают тополевики, непосредственно возле русел – заросли чозении. Места расширения долин, как правило, заняты наледями, растаивающими лишь к середине июля. Значительные площади заняты каменистыми галечниковыми россыпями.

**Горно-долинный тип местности** занимает днища морфологически выраженных горных рек и ручьев. Ширина долины зависит от их принадлежности различным морфоструктурам.

В верхних частях долины характеризуются глубоким врезом и отсутствием террасированности, их поперечный профиль V-образный. Продольный профиль вогнутый, нередко порожистый. Склоны крутые, осыпные или обрывистые. Современный аллювий плохо сортированный, преобладает глыбистая и крупновалунная структура. Почвы и растительный покров слабо развиты, характеризуются фрагментарностью распространения.

В средней и нижней частях долины расширяются, появляются поймы и одна-две террасы. Низкие поймы представляют собой галечниковые пляжи, практически лишены растительности и почв. Они постоянно подвергаются затоплению не только в период снеготаяния, но и при обильных дождях. Значительные площади заняты наледями. Средний и высокий уровни пойм заняты современным аллювием, представленным песчано-галечниковым материалом с валунами и гравием. Верхние горизонты разреза слагают супеси и суглинки, нередко перекрытые торфяными отложениями. Мощность аллювия изменяется от первых до нескольких десятков метров. В понижениях и тыловой части кос, в местах затишья вследствие накопления мелкозема формируются маломощные пойменные слоистые почвы, на которых поселяются различные виды ив, наиболее распространена чозения. Более повышенные участки занимают древовидные ивы, тополь и березы. На незатопляемых поверхностях террас и склонов долин, в зависимости от высоты, появляется типичная горно-таежная или горно-тун-

дровая растительность. На хорошо дренируемых участках, преимущественно южной экспозиции могут развиваться степные сообщества. Выположенные участки заняты заболоченными лугами или болотами.

### Заключение

В результате ландшафтного анализа окрестностей оз. Лабынкыр было описано значительное количество локальных природно-территориальных комплексов и определены 5 типов местности: моренный (предгорный моренный), склоновый делювиально-солифлюкционный, склоновый делювиально-коллювиальный, ледниково-долинный и горно-долинный.

Совокупное использование цифровой модели рельефа, карты крутизны склонов и расчет вегетационных индексов позволили выявить закономерности пространственной дифференциации ландшафтов.

Методика выявления территориальной организации ландшафтной структуры окрестностей оз. Лабынкыр может быть использована при ландшафтных исследованиях труднодоступных территорий.

### Список литературы

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-54 – Оймякон. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. С. 400.
2. Галанин А.А., Лыткин В.М., Шишков В.А. Использование лихенометрии и теста остаточной прочности для оценки возраста голоценовых морен в горах Сунтар-Хаята // Лед и снег. 2014. № 2 (126). С. 102–112. DOI: 10.15356/2076-6734-2014-2-102-112.
3. Ноговицын Д.Д., Шенна З.М., Сергеева Л.П. О возможности использования гидроэнергии малых рек Якутии // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 221–225.
4. Винокуров А.А. Антропогенное воздействие на почвы пастбищ Оймяконского нагорья северо-востока Якутии: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Якутск, 2012. 23 с.
5. Перфильева В.И. Основные черты растительности горной части бассейна реки Яны // Теоретические и прикладные проблемы биологии на Северо-Востоке СССР. 1977. С. 85–94.
6. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1:1500000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., Васильев Н.Ф., Макаров В.С. и др.; гл. ред. М.Н. Железняк. Якутск: ИМЗ СО РАН, 2018. 2 л.
7. Захаров М.И., Данилов Ю.Г., Гадаль С., Троева Е.И., Черосов М.М. Анализ ландшафтной структуры восточного склона хребта Орулган // Успехи современного естествознания. 2022. № 3. С. 49–55. DOI: 10.17513/use.37791.
8. Lemenkova P. Hyperspectral Vegetation Indices Calculated by Qgis Using Landsat Tm Image: a Case Study of Northern Iceland // Advanced Research in Life Sciences. 2020. Vol. 4. P. 70–78. DOI: 10.2478/arls-2020-0021.
9. Чульдун А.Ф. Получение вегетационных индексов Тувы на платформе Google Earth Engine // Природные ресурсы, среда и общество. 2021. № 4. С. 51–58. DOI: 10.24412/2658-4441-2021-4-51-58.
10. Фан Т.К., Нгуен Ч.Т., Алексеев А.С., Любимов А.В., Сергеева В.Л., Черниховский Д.М. Применение дистанционных методов и ГИС-технологий для классификации земель Пушкинского района Санкт-Петербурга // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. № 235. С. 84–102. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.84-102.
11. Братков В.В., Кравченко И.В., Туаев Г.А., Атаев З.В., Абдулжалимов А.А. Применение вегетационных индексов для картографирования ландшафтов Большого Кавказа // Известия ДГПУ. Естественные и точные науки. 2016. № 4. С. 97–111.
12. Haboudane D., Miller J., Pattey E., Zarco-Tejada, P., Strachan I. Hyperspectral Vegetation Indices and Novel Algorithms for Predicting Green LAI of Crop Canopies: Modeling and Validation in the Context of Precision Agriculture // Remote Sensing of Environment. 2004. Vol. 90. P. 337–352. DOI: 10.1016/j.rse.2003.12.013.
13. Yamazaki D., Ikeshima D., Tawatari R., Yamaguchi T., O’Loughlin F., Neal J.C., Sampson C.C., Kanae S., Bates P.D. A high accuracy map of global terrain elevations // Geophysical Research Letters. 2017. Vol. 44, Is. 11. P. 5844–5853. DOI: 10.1002/2017GL072874.
14. Lemenkova P. Detection of Vegetation Coverage in Urban Agglomeration of Brussels by NDVI Indicator Using eCognition Software and Remote Sensing Measurements // Proceedings of 3rd Int’l Conference ‘GIS and Remote Sensing. GIS Day’. Environmental Research and GIS Centre. Ed. H. Manandyan. Tsaghkadzor, Armenia: Print Way. 2014. P. 112–119. DOI: 10.6084/m9.figshare.7434215.
15. Перфильева В.И., Галактионова Т.Ф. Динамика урожайности тебеновочных пастбищ бассейна реки Сартанг // Почвенные и ботанические исследования в Якутии. 1972. С. 121–127.