

Функциональный анализ ландшафтной структуры для планирования землепользования в бассейновых геосистемах Центральной Якутии (на примере долины Эркээни)

М. И. Захаров^{1✉}, М. М. Черосов², Е. И. Троева³, Н. И. Тананаев^{1,4}

¹Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Российская Федерация
(677000, г. Якутск, ул. Кулаковского, 48)

²Якутский НИИ сельского хозяйства СО РАН, Российская Федерация
(677000, Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, 23/1)

³Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Российская Федерация
(677000, Якутск, пр. Ленина, 41)

⁴Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, Российская Федерация
(677000, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36)

Аннотация. Цель – исследование ландшафтной структуры бассейна долины Эркээни в Центральной Якутии методами геоинформационного картографирования и функционального анализа с позиций генетико-морфологической и потоковой организации.

Материалы и методы. Ландшафтная карта водосборного бассейна составлена с применением разновременных снимков Sentinel 2 цифровой модели рельефа ASTER GDEM на основе функционально-динамического подхода по временным рядам спектральных индексов на платформе Google Earth Engine.

Результаты и обсуждение. Установлены социально-экономические и экологические функции типичных и редких ландшафтов, по которым предложены рекомендации для планирования землепользования. Для определения потоковой организации ландшафтов по гидрографическим сетям выделены 6 парадинамических комплексов (ПК). Рассмотрены различия в ландшафтной структуре каждого бассейнового ПК и определены приоритеты в землепользовании, по которым даны рекомендации для принятия пространственных решений.

Выводы. Ландшафтная структура бассейна позволяет для сельскохозяйственного землепользования использовать потенциал увеличения дальних пашенных угодий, за счёт типичных лиственничных лесов. В долинной части следует отдать приоритет пастбищному и туристско-рекреационному землепользованию.

Ключевые слова: функциональный анализ, ландшафтное планирование, ландшафтная структура, Центральная Якутия, бассейновая геосистема, долина Эркээни.

Для цитирования: Захаров М. И., Черосов М. М., Троева Е. И., Тананаев Н. И. Функциональный анализ ландшафтной структуры для планирования землепользования в бассейновых геосистемах Центральной Якутии (на примере долины Эркээни) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 4, с. 23-30. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/4/23-30>

ВВЕДЕНИЕ

Ландшафтные исследования на современном этапе развития нацелены на преодоление новых вызовов: адаптация к изменениям климата, стратегическое планирование пространственного развития территорий, сохранение био-ландшафтного разнообразия и культурно-исторического ландшафта [2]. В пространственном развитии Российской Федерации отмечается устойчивая тенденция усиления неравномерности расселения, вызванного экономической глобализацией, поляризацией хозяйствующих субъектов в сельскохозяйственном производстве, ростом концентрации сельского населения в крупных поселениях, а также утратой биоразнообразия и ценности ландшафтов [3]. Тем не менее, упадок некоторых сельских территорий может быть частично уравновешен сглаживанием соци-

ально-экономических контрастов с помощью развития инфраструктуры, привлечением новых жителей в сельскую местность через ценные природные и культурные ресурсы, особенно в периферии крупных городских агломераций. Эти тенденции имеют явные риски для устойчивости многофункциональной ландшафтной структуры. Новые типы землепользования могут вступать в конфликт с традиционными функциями ландшафтов, что, в свою очередь, формирует множество задач планирования территориального развития. Для решения подобных задач, часто требующих учёта локальных особенностей ландшафтной организации, может быть применён геосистемный подход в планировании землепользования. В течение последних десятилетий подход активно развивался в отечественной [1, 5, 6, 8] и зарубежной [12-14] ландшафтной географии.

© Захаров М. И., Черосов М. М., Троева Е. И., Тананаев Н. И., 2024.

✉ Захаров Моисей Иванович, e-mail: mi.zakharov@s-vfu.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Согласно современному видению, главная цель ландшафтного планирования – это адаптация землепользования к ландшафтной структуре [8]. Ключевую роль в ландшафтном планировании играет функция ландшафта, как способность удовлетворять потребности землепользователей, поддерживать метаболизм ландшафта и взаимодействие с другими геосистемами. Поэтому оценка территории основана на интерпретации функций ландшафтов с позиций генетико-морфологической, потоковой, сетевой и нуклеарной организации [8]. В данной работе мы рассматриваем вариант бассейновой геосистемы в Центральной Якутии, где в структуре землепользования приоритетом является сельское хозяйство. Функциональный анализ ландшафтной структуре будет рассматриваться с двух позиций: генетико-морфологической организации для определения ресурсной ценности и потоковой организации для понимания форм и направлений латерального переноса вещества. Важность внедрения ландшафтного планирования для данного региона связана с повышенной уязвимостью мерзлотных ландшафтов к антропогенному воздействию, что вносит дополнительные риски для землепользования [9]. Согласно мерзлотно-ландшафтному районированию территория исследо-

вания относится к двум среднетаежным провинциям со сплошным распространением многолетней мерзлоты и сильнольдистыми комплексами: Лено-Вилуйская полого-волнистая и Лено-Амгинская аласная [7].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования – водосборный бассейн долины Эркээни, участка долины среднего течения реки Лена между двумя коренными мысами, расположенного в пределах Хангаласского улуса (района) Республики Саха (Якутия) (рис. 1). Расположение долины в зоне близкой доступности и агломерационного влияния столицы республики города Якутск и районного центра города Покровск, позволяет развивать аграрный сектор и обеспечивать рост туристско-рекреационных услуг, а также выносить некоторые объекты научно-образовательного комплекса за пределы города Якутск.

В структуре землепользования исследуемой территории выделяется три функциональных зоны, с выраженным гипсометрическим различием. Водораздельная часть бассейна представляет собой эрозионно-денудационную равнину междуречий, хозяйственные функции которой заключаются в лесозаготовке, полевом кормопроизводстве, табеневочном выпасе лошадей, летнем

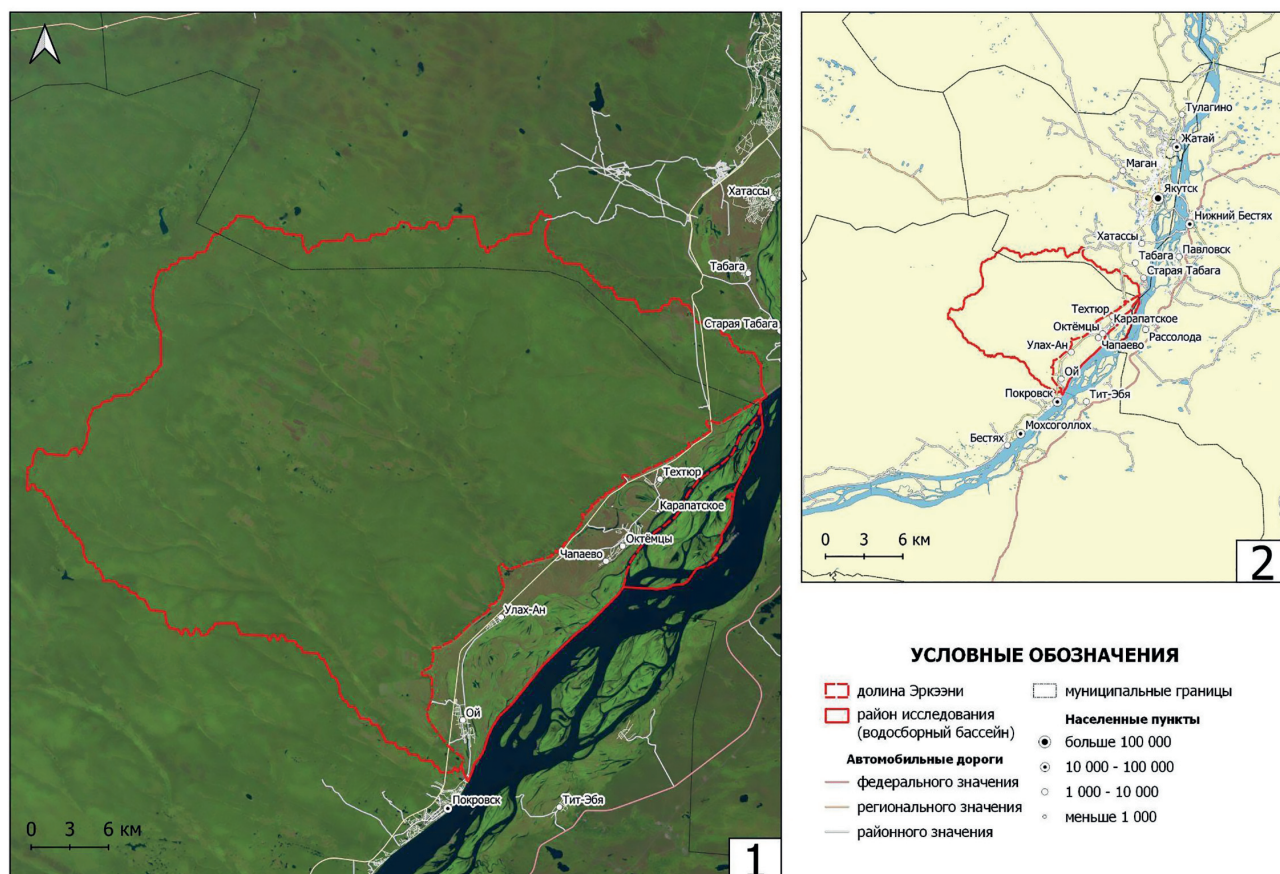


Рис. 1. Объект исследования – водосборный бассейн долины Эркээни:
1 – спутниковое изображение района исследования (RGB Landsat 8 OLI),
2 – расположение района исследования в Центральной Якутии
[Fig. 1. Study area – drainage basin of the Erkeeni valley:
1 – satellite image of the study area (RGB Landsat 8 OLI),
2 – location of the study area in Central Yakutia]

выпасе скота и овощеводстве. Надпойменные террасы реки Лена являются ядром расселения с интенсивным сельскохозяйственным землепользованием. Пойменные террасы долины и острова реки Лена используется в качестве сенокосных и пахотных угодий.

Региональные планы территориального развития предусматривают формирование экономической зоны со статусом территории опережающего развития. Этот проект призван использовать географическое положение и ценности ландшафтов долины для расширения periurbanного агропояса г. Якутск.

Методика геоинформационного картографирования ландшафтной структуры основана на функционально-динамическом подходе определения ландшафтных границ [10], которая выделяет контуры сходных по растительным ассоциациям и режиму увлажнения участков. Технологическая сущность методики – использование временных рядов мультиспектральных данных для геоинформационного моделирования различий в продуктив-

ности растительных сообществ. Данный подход, с точки зрения ландшафтной географии, заключается в нахождении различий в сезонной динамике фитопродукционного процесса в разных геосистемах [4]. Методика позволяет выделить ландшафтные единицы, по иерархической классификации находящиеся на уровне типов урочищ.

Мы использовали архив спутниковых данных Sentinel 2 с пространственным разрешением 10 м и 20 м в облачной платформе Google Earth Engine. Нами отобраны малооблачные сцены, приходящиеся на март и месяца с мая по сентябрь за период с 2014 по 2022 год (табл. 1). По полученному набору снимков скомпилированы медианные значения спектральных каналов, по которым были вычислены спектральные индексы NDVI, GNDVI, NDMI, MNDVI. Классификация растительности проводилась с использованием алгоритма «случайного леса» (Random Forest) с обучением и последующей валидацией на основе точечных данных полевых наблюдений и снимков высокого разрешения геосервиса Яндекс и Google.

Таблица 1

Временной ряд данных Sentinel 2 на участке долины Эркээни и спектральные индексы.

B3 – зеленый канал; B4 – красный канал; B8 – ближний инфракрасный канал;

B11 и B12 – коротковолновые инфракрасные каналы

[Table 1. Time series of Sentinel 2 data in the Erkeeni Valley area and spectral indices.

B3 – green channel; B4 – red channel; B8 – near infrared channel; B11 and B12 – shortwave infrared channels]

Месяцы / Months	Количество сцен / Number of scenes	Формулы спектральных индексов / Spectral index formulas
Март	20	$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$
Май	11	$GNDVI = \frac{B8 - B3}{B8 + B3}$
Июнь	32	$NDMI = \frac{B8 - B11}{B8 + B11}$
Июль	31	$MNDVI = \frac{B8 - B12}{B8 + B12}$
Август	27	
Сентябрь	16	

Для выявления элементов потоковой организации бассейновой геосистемы были использованы сцены цифровой модели рельефа ASTER GDEM с пространственным разрешением 30 м. С помощью инструментов *terrain analysis* в SAGA GIS построена гидрографическая сеть и элементарные водосборные бассейны, которые были объединены с учетом латеральных связей между водораздельной и долинно-речной частью

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

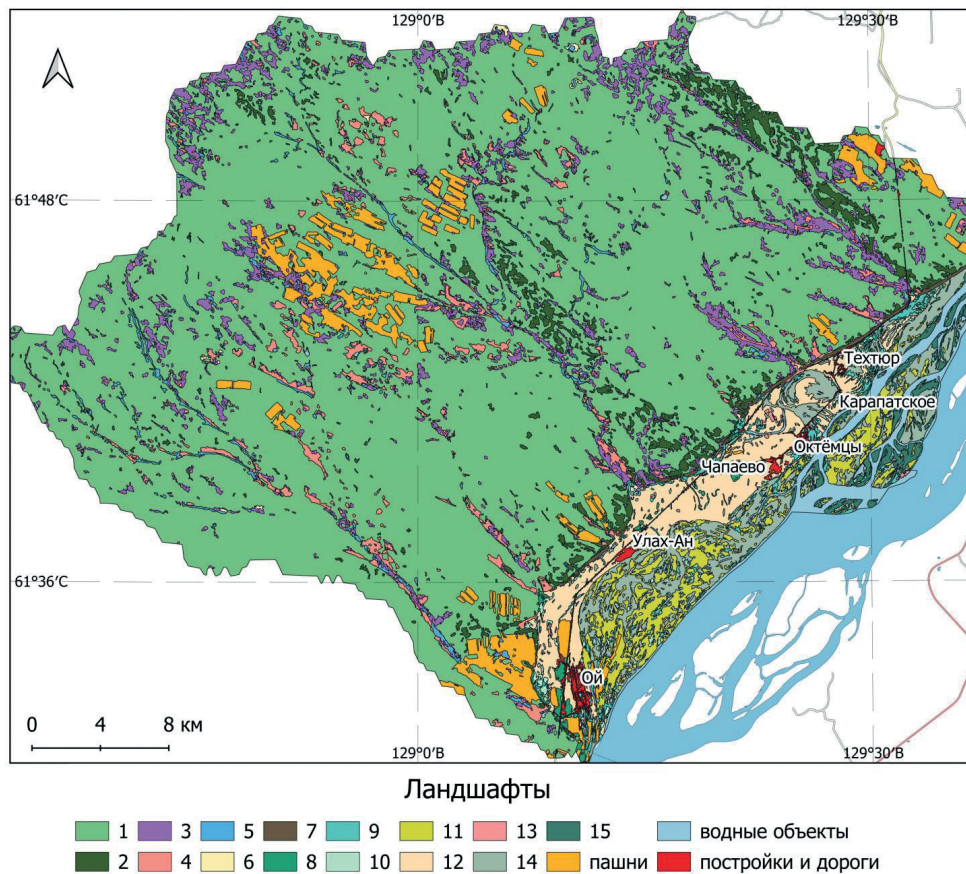
Для анализа ландшафтной структуры использованы выделенные нами 15 типов урочищ, а также картированные пашни, водные и антропогенные объекты (дороги, постройки и др.). Урочища разделены по элементам водосборного бассейна на водораздельные и долинно-речные. Для определения ценности ландшафтов для сельского хозяйства мы используем типологию агроландшафтов, разработанную для Центральной Якутии [4].

Типичные ландшафты водораздельной части: брусничные и бруснично-багульниковые лиственные леса на основной территории; сосновые и сосново-лиственные леса, распространенные по склонам южной экспозиции травяных рек (рис. 2).

Сосновые леса – ценный ресурс в лесопользовании, но их вырубка под пашни нерациональна ввиду низкой продуктивности песчаной почвы. Эти два типичных для Центральной Якутии лесных урочища с близким залеганием многолетнемерзлых пород формируют ядро зонального ландшафта в экологическом каркасе бассейновой геосистемы.

Подножия склонов и старые гари пожара 2006 года заняты восстановительными сукцессиями на стадии березовых и лиственнично-березовых лесов, с участками сырых и заболоченных лугов, которые могут быть использованы как пастбища. Послепожарные сукцессии имеют низкую ресурсную ценность. Днища травяных рек с сырыми лугами наиболее пригодны в качестве тебеновочных пастбищ. В междуречьях на дренируемых поверхностях имеются урочища остепненных и настоящих лугов, нарушенных мерзлотными процессами. Термокарстовые котловины с группой аласных ландшафтов немногочисленны вследствие малой льдистости песчаных почв и используются как летние пастбища.

По борту долины крутые склоны южной экспозиции коренного берега реки Лена заняты урочищами



Условные обозначения: 1. Лиственные (с участками сосны и березы) бруснично-разнотравные леса на элювиальных и делювиальных слабоденудированных поверхностях эрозионно-денудационной равнины междуречий с мерзлотными палевыми осолоделыми почвами; 2. Сосновые и лиственнично-сосновые толокняковые леса на делювиальных местах с коллювием слабоуклоненных поверхностях южной и западной экспозиции эрозионно-денудационной равнины междуречий с мерзлотными подзолистыми почвами; 3. Березовые и лиственнично-березовые разнотравно-брусничные леса на делювиальных слабоуклоненных поверхностях эрозионно-денудационной равнины междуречий с мерзлотными палевыми осолоделыми почвами; 4. Остепненные луга и залежи на делювиальных слабоуклоненных поверхностях эрозионно-денудационной равнины междуречий с мерзлотными черноземно-луговыми почвами, пахотными почвами и термокарстовых котловин с мерзлотными аласными черноземно-луговыми почвами; 5. Сырые луга долин травяных рек с мерзлотными перегнойно-глеевыми почвами; 6. Луговые степи на элювиальных и делювиальных слабоуклоненных поверхностях эрозионно-денудационной равнины междуречий с мерзлотными лугово-черноземными почвами и термокарстовых котловин с мерзлотными аласными лугово-черноземными почвами; 7. Дерновинные степи и луговые степи на делювиальных и делювиально-солифлюкционных склонах коренного берега с мерзлотными лугово-черноземными почвами; 8. Сосновые остепненные леса на аллювиальной эрозионно-аккумулятивной террасе с мерзлотными палевыми переходными почвами; 9. Березово-ивовые кустарниково-разнотравные леса на конусах выноса и старичных понижениях аллювиальной эрозионно-аккумулятивной террасы с мерзлотными палевыми серыми почвами; 10. Настоящие луга и луговые степи с участками переменного увлажнения лугов вокруг старичных озер и проток аллювиальной эрозионно-аккумулятивной террасы с мерзлотными черноземно-луговыми почвами и высокой поймы с мерзлотными аллювиальными дерновыми почвами; 11. Влажные и заболоченные луга на старичных понижениях и вокруг старичных озер и проток аллювиальной эрозионно-аккумулятивной террасы с мерзлотными лугово-болотными и пойменными заболоченными почвами; 12. Антропогенно деградированные степи аллювиальной эрозионно-аккумулятивной террасы с мерзлотными черноземно-луговыми и лугово-черноземными почвами; 13. Степи луговые в комплексе с антропогенной растительностью поселений аллювиальной эрозионно-аккумулятивной террасы и высокой поймы с мерзлотными черноземно-луговыми и лугово-черноземными почвами; 14. Настоящие и сырые луга на пойменных террасах с мерзлотными аллювиальными дерновыми глеевыми почвами; 15. Ивовые травяные заросли на пойменных террасах с мерзлотными аллювиальными перегнойными почвами.

Рис. 2. Ландшафтная карта водосборного бассейна долины Эркэни
[Fig. 2. Landscape map of the Erkeni Valley basin]

дерновинных степей. Они подвержены солифлюкции, формирующей дерновые уступы, пологие участки которых используются для выпаса.

Для долинной части типичны урочища, сложенные из серийных фаций антропогенно-деградированных

сухих, переменного-влажных и сырых лугов по контурам бывших русел реки Лены со старичными озерами. В долине также встречаются урочища редких сосновых и сосново-лиственничных лесов, которые находятся в азональных условиях, выполняя барьерные и эстетиче-

ские функции, на каком основании они должны быть выведены из землепользования. Пойменные ландшафты представляют собой сочетание влажных и заболоченных лугов старичных понижений и проток с настоящими и сырыми лугами. Наиболее приемлемая ниша в землепользовании – сенозаготовка, учитывая близость населенных пунктов и относительно высокую продуктивность увлажненной почвы.

Ивовые травяные заросли с аллювиальными перегнойными почвами – типичные урочища нижних ярусов поймы. Пашни можно условно подразделить на удаленные и ближние, что определяется удалением от русла реки Лена. Ценные сенокосные пойменные луга подвержены речной эрозии, в размещении новых угодий следует оставлять защитные ивняки. Ландшафты территории населенных пунктов и узкой полосой вдоль автодороги сталкиваются с развитием криогенных процессов, прежде всего, термокарста и морозного пучения. В целях защиты от криогенных процессов следует ограничить тепловое воздействие на эти участки путем затенения защитными лесными и кустарниковыми растениями, которые также будут ограничивать попадание дорожной пыли на примыкающие сельхозугодья.

Латеральные потоки водораздельной части формируются в первую очередь в разветвленной флювиальной сети верховий, концентрируются и попадают в долино-речную часть по фрагментам низких надпойменных террас, местами с наложенными на них конусами

выноса. Долина Эркээни, как и нижерасположенные долины Средней Лены – большой по площади антропогенно-преобразованный буфер, элементы которого «отсекают» малые притоки долины как от основного водотока, так и от его поймы, что приводит к тому, что воды, вещества не доходят до основного русла реки Лена.

В частности, на границе долины, в местах впадения притоков, их русла сильно преобразованы человеком: организованы некапитальные плотины, автодорожные мосты, в результате чего здесь задерживается значительная часть стока наносов. Нижние части русел этих рек в летний период функционируют скорее как вытянутые между пойменных грив лентообразные протоки с замедленным водообменом, уровень воды в которых поддерживается по преимуществу потоком грунтовых вод. Гидрологическая сопряженность водосбора и долины Эркээни фактически существует лишь во время весеннего половодья, наблюдающегося на малых реках во второй-третьей декаде мая, и краткосрочных летних паводков.

В водосборном бассейне долины Эркээни выделяется шесть парадинамических комплексов (ПК), от I до VI, с участием элементарных бассейнов (рис. 3). Каждый ПК имеет, как минимум, одну точку входа латеральных потоков в долино-речную часть. Ландшафтная структура ПК I характеризуется мозаичностью водораздельной части, где доминируют типичные лиственничные леса, в сочетании с сосновыми лесами на левых склонах водораздельной поверхности и зна-

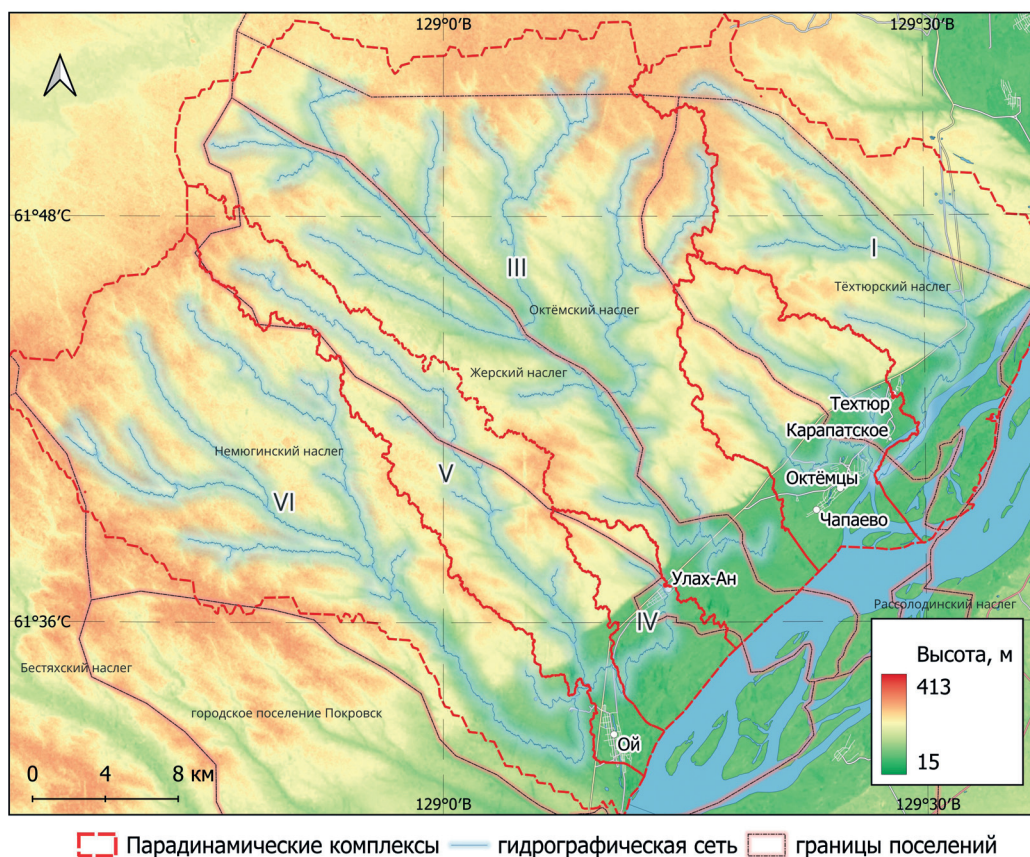


Таблица 2

Ландшафтная структура бассейновых парадинамических комплексов долины Эркээни

[Table 2. Landscape structure of basin paradyamic complexes of the Erkeeni valley]

ПК / РС	Типы урочищ / Types of tracts															Пашни / Arable lands
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
I	56,15	7,40	10,35	1,96	0,40	0,01	0,55	0,07	1,83	0,40	3,87	1,13	0,12	8,41	4,45	2,90
II	54,13	2,10	5,83	1,67	0,36	0	0,76	0,55	3,65	1,27	2,62	14,31	1,16	8,83	1,85	0,91
III	71,70	3,63	8,19	3,16	1,84	0,14	0,11	0,14	0,62	0,23	1,44	2,99	0,05	1,98	0,07	3,70
IV	22,74	4,28	0,71	0,69	0,03	0	0,78	0,33	3,39	4,13	26,33	6,88	0,20	21,74	0,99	0,24
V	69,83	1,44	6,33	3,86	1,76	0	0,10	0,63	0,86	0,95	1,00	4,60	0,13	0,02	0,01	0,02
VI	80,49	1,04	5,89	3,73	2,46	0,08	0	0,36	0,29	0,35	0,03	0,73	0,06	5,65	7,01	4,08

чительными площадями восстановительных сукцессий из березняков в подножьях склонов (табл. 2).

В землепользовании ПК II приоритет имеет туристско-рекреационная деятельность, осуществляемая горнолыжной базой в с. Тэхтюр и (зоо)экопарком “Орто-Дойду”. На его водоразделе следует ограничить любые воздействия, нарушающие функции ландшафтов, прежде всего, лесозаготовку и расширение пашенных угодий, ввиду первостепенности эстетической ценности ландшафтов. Пойменные ландшафты представлены относительно высокопродуктивными влажными и заболоченными лугами, приоритетным землепользованием для которых является сенозаготовка.

Крупнейший ПК III характеризуется большим среди вышеописанных ПК доминированием типичных лиственных лесов, что дает потенциал для расширения дальних пашенных угодий. При этом следует учитывать угрозы для построек на участке выхода малой реки в долинную часть и возможность разрушительного воздействия на автодорогу. В бассейне расположены множество пашен, значительная часть которых относится к дальним.

Четвертый ПК характеризуется низкой долей типичных ландшафтов и высокой долей пашенных угодий. Важной особенностью ПК является различная муниципальная принадлежность его частей. Пашни, расположенные на водоразделе, принадлежат Немюгюнскому наслегу, тогда как в долинно-речной части расположено село Улах-Ан Жерского наслега; пашенные угодья последнего также расположены в другом ПК. Такая конфигурация требует согласованных действий муниципалитетов, чтобы избежать потенциальных конфликтов землепользователей двух наслегов. В целом, ПК II и IV имеют небольшие площади с оптимальным соотношением типичных ландшафтов с ограничением дальнейшего расширения сельскохозяйственных угодий на водоразделе.

Пятый ПК имеет узкую длинную водосборную область на водоразделе. Доля пашен в этом комплексе самая высокая, они сконцентрированы в дальней части бассейна, дальнейшее увеличение пашенных угодий в этом ПК нежелательны, так как могут нарушить барьерные функции типичных ландшафтов.

В шестом ПК, полностью расположенном в границах Немюгюнского наслега, типичные лиственные

ландшафты доминируют при концентрации пашенных угодий в ближней части водораздела и в долинно-речной части. Наслег является главным производителем кормовых культур и занимается хлебопроизводством, то есть имеет высокие потенциал к развитию сельского хозяйства. В планировании землепользования следует рассмотреть потенциал увеличения дальних пашенных угодий на слабодренированных водораздельных поверхностях с типичными лиственными ландшафтами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе представлены некоторые аспекты возможной адаптации многофункционального землепользования к ландшафтной структуре. Для этого был проведен функциональный анализ ландшафтной структуры на уровне картируемых типов урочищ с использованием временных рядов спутниковых снимков и различий в фотосинтетической активности растительного покрова. Проанализированы ресурсные и функциональные ценности ландшафтов, а также сопряженная взаимосвязь урочищ по бассейновым ПК. Ландшафтная структура бассейна позволяет для сельскохозяйственного землепользования использовать потенциал увеличения дальних пашенных угодий. В долинной части следует отдать приоритет пастбищному и туристско-рекреационному землепользованию экологического характера. Полученные результаты могут стать основой в планировании землепользования на муниципальном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов А. Н., Семенов Ю. М. Ландшафтное планирование в Прибайкалье // *География и природные ресурсы*, 2006, № 1, с. 11-18.
2. Дьяконов К. Н., Линник В. Г. О некоторых проблемах современного ландшафтоведения // *Материалы XIV Международной ландшафтной конференции «Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения»*, 2023, т. 1, с. 11-14.
3. Зубаревич Н. В. Трансформация сельского расселения и сети услуг в сельской местности // *Известия РАН. Серия географическая*, № 3, 2013, с. 26-38.
4. Иванова Л. С., Романова Л. А., Пчелкина С. С. Агроэкологическая типология земель для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия в Центральной Якутии // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*, 2011, № 4, с. 72-75.
5. Колбовский Е. Ю. *Ландшафтное планирование*. Москва: Академия, 2008. 306 с.

6. Ландшафтное планирование: принципы, методы, европейский и российский опыт: монография / А.Н. Антипов, А.В. Дроздов, В.В. Кравченко и др. Иркутск: Издательство института географии СО РАН, 2002. 141 с.

7. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия): карта. Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., и др. Якутск: ИМЗ СО РАН, 2018. 2 л.

8. Теория и методология ландшафтного планирования: монография / Хорошев А.В., Авессаломова И.А., Дьяконов К.Н. и др. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2019. 444 с.

9. Устойчивость криогенных ландшафтов на северном участке трассы железной дороги Якутии / Васильев И.С., Федоров А.Н., Варламов С.П., и др. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*, 2009, № 2, с. 4-9.

10. Хорошев А.В. Функционально-динамический подход к исследованию ландшафтных границ // *Региональные исследования*, 2022, № 3, с. 60-70.

11. Distribution and Structure Analysis of Mountain Permafrost Landscape in Orulgan Ridge (Northeast Siberia) Using Google Earth Engine / Zakharov M., Gadal S., Kamičaitytė J., Cherosov M., Troeva E. // *Land*, 2022, 11, 1187.

12. *Landscape planning. The basis of sustainable landscape development: book* / von Haaren C., Galler C., Ott S. Gebr. Kindenberg Buchkunst Leipzig GmbH, 2008. 51 p.

13. Marsh W.M. *Landscape planning environmental applications*. Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc. 2005. 472 p.

14. Steiner D.F. *The living landscape. An ecological approach to landscape planning*. Island Press, Washington, Covelo, London, 2008. 471 p.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 06.09.2023

Принята к публикации: 02.12.2024

UDC 911.52

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/4/23-30>

ISSN 1609-0683

Functional Analysis of Landscape Structure for Land Use Planning in Basin Geosystems of Central Yakutia (the Erkeeni Valley is an Example)

M. I. Zakharov¹ ✉, M. M. Cherosov², E. I. Troeva³, N. I. Tananaev^{1,4}

¹*Ammosov North-Eastern Federal University, Russian Federation
(48, Kulakovskiy str., Yakutsk, 677000)*

²*Yakutsk Research Institute of Agriculture of the SB of the RAS, Russian Federation
(23/1, Bestuzhev-Marlinsky str., Yakutsk, 677000)*

³*Institute for Biological Problems of Cryolithozone of the SB of the RAS, Russian Federation
(41, Lenin Ave., Yakutsk, 677000)*

⁴*Melnikov Institute of Permafrost of the SB of the RAS, Russian Federation
(36, Merzlotnaya str., Yakutsk, 677000)*

Abstract. The purpose is to study the landscape structure of the Erkeeni valley basin in Central Yakutia by methods of geoinformation mapping and functional analysis from the perspective of genetic-morphological and flow organisation.

Materials and methods. The landscape map of the catchment area was compiled using multi-temporal Sentinel 2 images of ASTER GDEM digital elevation model based on the functional-dynamic approach using time series of spectral indices on the Google Earth Engine platform.

Results and Discussion. We determined the socio-economic and ecological functions of typical and rare landscapes to develop the guidelines for land use planning. Six paradigmatic complexes (PCs) were identified to determine the flow organization of landscapes by hydrographic networks. Considering the differences in landscape structure of each basin PC and determined priorities in land use, we developed recommendations for spatial decision-making.

Conclusions. The landscape structure of the basin allows for agricultural land use to utilise the potential for increasing distant arable land at the expense of typical larch forests. In the valley part, priority should be given to pasture and tourist-recreational land use.

Key words: functional analysis, landscape planning, landscape structure, Central Yakutia, basin geosystem, Erkeeni Valley.

For citation: Zakharov M. I., Cherosov M. M., Troeva E. I., Tananaev N. I. Functional Analysis of Landscape Structure for Land Use Planning in Basin Geosystems of Central Yakutia (the Erkeeni Valley is an Example). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2024, no. 4, pp. 23-30. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/4/23-30>

© Zakharov M. I., Cherosov M. M., Troeva E. I., Tananaev N. I., 2024

✉ Moisei I. Zakharov, e-mail: mi.zakharov@s-vfu.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

REFERENCES

1. Antipov A.N., Semenov Ju.M. Landshaftnoe planirovanie v Pribajkal'e [Landscape planning in the Baikal region]. *Geografija i prirodnye resursy*, 2006, no. 1, pp. 11-18. (In Russ.)
2. D'jakonov K.N., Linnik V.G. O nekotoryh problemah sovremennogo landshaftovedenija [On some problems of modern landscape science]. *Materialy XIV Mezhdunarodnoj landshaftnoj konferencii «Teoreticheskie i prikladnye problemy landshaftnoj geografii. VII Mil'kovskie chtenija»*, 2023, vol. 1, pp. 11-14. (In Russ.)
3. Zubarevich N.V. Transformacija sel'skogo rasselenija i seti uslug v sel'skoj mestnosti [Transformation of rural settlement and the network of services in rural areas]. *Izvestija RAN. Serija geograficheskaja*, no. 3, 2013, pp. 26-38. (In Russ.)
4. Ivanova L.S., Romanova L.A., Pchelkina S.S. Agrojekologicheskaja tipologija zemel' dlja proektirovanija adaptivno-landshaftnyh sistem zemledelija v Central'noj Jakutii [Agroecological typology of lands for designing adaptive landscape farming systems in Central Yakutia]. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki*, 2011, no. 4, pp. 72-75. (In Russ.)
5. Kolbovskij E.Ju. Landshaftnoe planirovanie [Landscape planning]. Moscow: Akademiya, 2008. 306 p. (In Russ.)
6. *Landshaftnoe planirovanie: principy, metody, evropejskij i rossijskij opyt: monografija* [Landscape planning: principles, methods, European and Russian experience: monograph] / A.N. Antipov, A.V. Drozdov, V.V. Kravchenko i dr. Irkutsk: Izdatel'stvo instituta geografii SO RAN, 2002. 141 p. (In Russ.)
7. *Merzlotno-landshaftnaja karta Respubliki Saha (Jakutija): karta. Masshtab 1: 1 500 000* [Permafrost landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia): map. Scale 1: 1,500,000] / Fedorov A.N., Torgovkin Ja.I., Shestakova A.A., i dr. Jakutsk: IMZ SO RAN, 2018. 2 l. (In Russ.)
8. Teorija i metodologija landshaftnogo planirovanija: monografija [Theory and methodology of landscape planning: monograph] / Horoshev A.V., Avessalomova I.A., D'jakonov K.N. i dr. Moscow: Tovarišhestvo nauchnyh izdanij KMK, 2019. 444 p. (In Russ.)
9. Ustojchivost' kriogenykh landshaftov na severnom uchastke trassy zheleznoj dorogi Jakutii [Stability of cryogenic landscapes on the northern section of the Yakutia railway route] / Vasil'ev I.S., Fedorov A.N., Varlamov S.P., i dr. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki*, 2009, no. 2, pp. 4-9. (In Russ.)
10. Horoshev A.V. Funkcional'no-dinamicheskij podhod k issledovaniju landshaftnyh granic [Functional-dynamic approach to the study of landscape boundaries]. *Regional'nye issledovaniya*, 2022, no. 3, pp. 60-70. (In Russ.)
11. Distribution and Structure Analysis of Mountain Permafrost Landscape in Orulgan Ridge (Northeast Siberia) Using Google Earth Engine / Zakharov M., Gadal S., Kamičaitytė J., Cherosov M., Troeva E. *Land*, 2022, 11, 1187.
12. *Landscape planning. The basis of sustainable landscape development*: book / von Haaren C., Galler C., Ott S. Gebr. Kindenberg Buchkunst Leipzig GmbH, 2008. 51 p.
13. Marsh W.M. *Landscape planning environmental applications*. Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc. 2005. 472 p.
14. Steiner D.F. *The living landscape. An ecological approach to landscape planning*. Island Press, Washington, Covelo, London, 2008. 471 p.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 06.09.2023

Accepted: 02.12.2024

Захаров Моисей Иванович

Кандидат географических наук, доцент эколого-географического отделения Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-8916-2166, e-mail: mi.zakharov@s-vfu.ru

Черосов Михаил Михайлович

Доктор биологических наук, исполняющий обязанности директора Якутского НИИ сельского хозяйства СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-9634-8700 e-mail: cherosov@mail.ru

Троева Елена Ивановна

Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-8016-830X, e-mail: troeva.e@gmail.com

Тананаев Никита Иванович

Кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Института мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация; заведующий лабораторией Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-2997-0169, e-mail: tanni@s-vfu.ru

Moisei I. Zakharov

Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof. at the Department of Ecology and Geography of the North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-8916-2166, e-mail: mi.zakharov@s-vfu.ru

Mikhail M. Cherosov

Dr. Sci. (Biol.), Acting Director of the Yakutsk Research Institute of Agriculture of the Siberian Branch of Russian Academy Sciences, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-9634-8700, e-mail: cherosov@mail.ru

Elena I. Troeva

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher at the Institute of Biological Problems of Cryolithozone of the Siberian Branch of Russian Academy Sciences, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-8016-830X, e-mail: troeva.e@gmail.com

Nikita I. Tananaev

Cand. Sci. (Geogr.), Leading Researcher at the Institute of Permafrost Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation; Head of Laboratory of the North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-2997-0169, e-mail: tanni@s-vfu.ru