

УДК 528.92:911.2(470+571)(517.3)  
DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-2-91-102

## **СОЗДАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТРАНСГРАНИЧНОЙ РОССИЙСКО-МОНГОЛЬСКОЙ ТЕРРИТОРИИ**

*Андрей Николаевич Бешенцев*

Байкальский институт природопользования СО РАН, 670042, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, доктор географических наук, профессор РАН, зав. лабораторией, тел. (3012)43-36-76, e-mail: abesh@mail.ru

*Александр Андреевич Аюржанаев*

Байкальский институт природопользования СО РАН, 670042, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (3012)43-36-76, e-mail: ayurzhanayev@binm.ru

*Батор Валерьевич Содномов*

Байкальский институт природопользования СО РАН, 670042, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, ведущий инженер, тел. (3012)43-36-76, e-mail: sodnomov@binm.ru

Целью статьи является физико-географическое районирование трансграничной российско-монгольской территории на основе геоинформационных ресурсов. Методологической основой исследования являются картографический и статистический методы исследования, геоинформационная технология, а также операции обработки и анализа данных дистанционного зондирования. В результате исследования определены особенности геоинформационных ресурсов, представлена их характеристика, разработана классификация и обосновано их интегрирующее значение при принятии межгосударственных территориальных решений. Дана физико-географическая характеристика территории, определены масштабы картографирования, установлены базовые единицы геоинформационного картографирования и моделирования, создано покрытие бассейнового деления, предложена схема создания базовых геоинформационных ресурсов для физико-географического районирования территории. На основании анализа цифровой модели рельефа выполнено районирование территории по морфометрическим параметрам рельефа. В результате обработки и анализа разновременных снимков Landsat выполнено районирование территории по показателю количества фотосинтетически активной биомассы (NDVI). В результате районирования выделены шесть физико-географических областей и 33 физико-географических района.

**Ключевые слова:** геоинформационные ресурсы, трансграничная территория, речные бассейны, ГИС, NDVI, картографирование, межгосударственное информационное взаимодействие

### *Введение*

В настоящее время информатизации природопользования и цифровизации экономики важное место в территориальной деятельности общества занимают процедуры геоинформационной регистрации используемых географических объектов и процессов, при которой на первый план выдвигаются их качественно-количественные характеристики и топологические отношения, определяющие предпосылки геоинформационного моделирования. Такой подход дает возможность выявить единые территориальные структуры, определить ранее ненаблюдаемые системные свой-

ства объектов и процессов природопользования, установить тренды физико-географического и социально-экономического развития используемой территории. В первую очередь это актуально для трансграничных геосистем, разделенных природными и административными рубежами. При образовании трансграничных территориальных структур помимо продуктов производства в обмен вступают информационные продукты и услуги, а обмен информацией и другие виды информационной активности приграничных хозяйствующих субъектов являются основой успешного экономического и природоохранного межгосударственного взаимодействия.

Процесс информатизации приграничных территорий соседних стран и применения современных технологий цифрового природопользования определяется внедрением общих инноваций: использования микропроцессорной техники для регистрации географических объектов и процессов; цифрового хранения их параметров; использования сети Интернет для сбора и публикации геоданных; применения ГИС-технологии, беспилотных летательных аппаратов, средств глобального позиционирования и лазерного сканирования земной поверхности. При этом обеспеченность информационными ресурсами трансграничных геосистем характеризуется техническими и организационными особенностями: геоинформационные ресурсы (ГИР) на эти территории ограничены законодательными документами; имеют различную точность привязки; специальные форматы; не унифицированы, а иногда и противоречивы. Использование различных технических решений и отсутствие общей концепции картографирования таких территорий сдерживает интеграцию мирового сообщества по их исследованию.

В настоящее время российскими и международными коллективами исследователей ведутся междисциплинарные исследования трансграничных территорий и имеется успешный опыт интеграции ГИР и организации информационного соседства граничащих стран. Разрабатываются теоретические положения и методология трансграничных исследований [1–3], сформулированы принципы создания информационной системы межгосударственного обмена данными при управлении трансграничным водным объектом [4], ведется работа по организации системы международной, региональной и национальной стандартизации и принятию единых информационных показателей для оценки трансграничных территорий [5]. Значительная часть трансграничных исследований выполняется на базе геоинформационной технологии, созданы ГИС для организации российско-польского межгосударственного сетевого сотрудничества в регионе Вислинского залива [6], разработана методика геоинформационной оценки рекреационных ресурсов трансграничного Горного Алтая [7], рассматривается возможность со-

здания трансграничной биосферной территории на Алтае [8], обоснована необходимость создания такой территории для устойчивого развития горных ландшафтов [9], разработана система показателей мониторинга экосистем сухих степей трансграничной Убсунурской котловины [10].

### *Геоинформационные ресурсы*

В условиях повсеместного использования компьютерной техники, средств глобального позиционирования и беспилотных летательных аппаратов каждый отдельный муниципалитет, административная или ведомственная структура, научно-исследовательское или отраслевое учреждение располагают различными базами географических данных либо информационным массивом, имеющим узкую тематическую специализацию, а также ограниченный территориальный характер. В отличие от густонаселенных и инфраструктурно освоенных регионов планеты формирование российско-монгольского информационного пространства осуществляется низкими темпами. Такое положение дел сдерживает информатизацию трансграничных территорий и препятствует внедрению современных технических и технологических инноваций в территориальную деятельность хозяйствующих субъектов.

Первым этапом решения проблемы является определение базовой единицы картографирования и составление общей картографической основы физико-географического деления исследуемой территории, приемлемой для ведения тематических баз данных, а также организация ГИС трансграничной территории для создания и тиражирования ГИР, которые описывают природные, социальные, экономические и другие территориальные объекты и процессы и являются результатом интеграции топологических и качественно-количественных геоданных. Таким образом, основной особенностью ГИР является координатная привязка регистрируемых геоданных, точность которой обусловлена видом ресурса и формой (форматом) его представления.

В основе классификации ГИР лежит их разделение на пространственные и тематические ресурсы (табл. 1).

Классификация геоинформационных ресурсов

Типы	Виды	Контент	Форма	Назначение
Пространственные	– топографические карты; – данные дистанционного зондирования; – материалы геодезических съемок; – геоинформационные модели	– топографический; – географический; – социально-экономический; – исторический; – туристско-рекреационный; – административный; – нормативно-правовой; – другой	– растровая; – векторная; – цифровые поверхности; – табличная; – гипертекст; – видео; – другая	– научно-исследовательское; – научно-популярное; – оперативно-справочное; – мониторинговое; – художественное; – другое
Тематические	– тематические карты; – базы геоданных; – описания; – кадастры; – реестры			

Тематическая характеристика и содержание геоинформационных ресурсов обозначаются понятием «контент» – совокупность информационных ресурсов определенной предметной области. Единицей контента является документ – пространственно-координированная идентифицируемая географическая информация, полученная участниками территориальной деятельности, зафиксированная и сохраняемая на электронном носителе. Каждый документ имеет содержание – фактическую информацию документа, визуализирующую территориальные объекты и процессы, а также географический контекст – это, как правило, физико-географическое описание территории или координатные данные.

Создание ГИР осуществляется на основании требований пользователей: с одной стороны, как производителей ресурсов (форматы, классификации и т. п.), а с другой, как потребителей ресурсов (наглядность, обзорность, язык представления и т. п.). При этом ресурсы могут быть созданы пользователями как при непосредственном взаимодействии с объектами (полевые обследования, туризм и т. п.), так и на основании уже имеющихся геоинформационных моделей (карты, ДДЗ) при косвенном изучении территории. Полезность и востребованность ГИР определяется их значением при решении конкретной терри-

ториальной задачи [11]. Размещение ГИР осуществляется в национальных серверных зонах. Как правило, ресурсы создаются на национальных языках пользователей конкретного региона и дублируются на английском языке, что обеспечивает к ним широкий доступ мирового сообщества. При этом по пространственному размещению ГИР подразделяются на внутренние – размещенные на национальных серверах и являющиеся продуктом собственника территории, и внешние – создаваемые и публикуемые в других точках планеты.

Для определения однородных физико-географических участков как базовых единиц геоинформационного картографирования и установления их границ использован бассейновый подход, в основе которого находится понимание речного бассейна как природной целостной геосистемы с иерархически построенными горизонтальными и вертикальными связями, формирование и функционирование которой обусловлено геологическими, тектоническими, климатическими и другими факторами развития территории в единых орографических границах.

### Территория исследования

Трансграничная российско-монгольская территория расположена между 47 и 54 северными параллелями и 87 и 117 меридианами

и представляет собой вытянутый в широтном направлении северный рубеж Монгольского плато протяженностью около 4 000 км<sup>2</sup>. Западный рубеж трансграничной территории находится в горной системе Алтай, на плоскогорье Укок (исток р. Обь). Затем охватывает Тувинскую котловину и Котловину Больших Озер, Восточно-Тувинское нагорье, Тоджинскую и Дархадскую котловины. Далее выходит на горную систему Восточный Саян, ограничена с севера хребтом Удинский и включает хребет Большой Саян (исток р. Енисей) и его отроги. Затем пересекает Байкальскую рифтовую зону и проходит по бассейну оз. Байкал, полностью включая бассейн р. Селенга. Далее пересекает хребет Хэнтэй, выходит на верховья бассейна р. Амур и заканчивается на севере Восточно-Монгольской равнины. По своему физико-географиче-

скому положению исследуемая территория включает Североазиатские гольцовые и таежные геосистемы, Североазиатские степные геосистемы и Центральноазиатские степные геосистемы. Ландшафты Северной Азии представлены Южно-Сибирской горной областью, ландшафты Центральной Азии – Северо-Монгольской полупустынно-степной областью [12]. По этой территории проходит мировой водораздел и граница между лесом и степью (рис. 1).

В результате картографирования границ бассейновых участков определены их морфометрические параметры и общая площадь территории – около 1 300 000 км<sup>2</sup>. Установлена бассейновая принадлежность участков государственной российско-монгольской границы и определены их плановые характеристики (табл. 2).



Рис. 1. Российско-монгольская трансграничная территория

Таблица 2

Морфометрические характеристики речных бассейнов трансграничной российско-монгольской территории

Речной бассейн	Площадь речного бассейна (км <sup>2</sup> )	Площадь речного бассейна (%)	Периметр речного бассейна (км)	Протяженность государственной границы на речном бассейне (км)
1. Обский	79 620	6,2	2 056	307,7
2. Енисейский	184 452	14,4	3 772	297,4
3. Бессточный	208 508	16,3	3 406	1 027,8
4. Ангаро-Байкальский	71 214	5,6	2 567	434,0
5. Селенгинский	445 666	34,9	5 717	1 118,1
6. Амурский	289 377	22,6	3 710	853,4

### Материалы и методы

Для хранения и пространственного анализа значительных массивов разновременных геоданных трансграничной территории в БИП СО РАН создана ГИС на базе программного пакета ArcGIS. В результате автоматизации геоданных в программной среде создаются ГИР, регистрирующие разновременные физико-географические параметры территории в виде совокупности векторных слоев (shp-файлы) и однозначных таблиц-атрибутов (dbf-таблицы). Функциональная задача ГИС – непрерывная информационная регистрация пространственного и качественно-количественного состояния трансграничных и приграничных геосистем во взаимосвязи с экологической оценкой последствий природопользования.

Информационное содержание ГИС составляют разновременные цифровые карты, ДДЗЗ, статистическая, литературная информация, фотографические материалы, разновременные геохимические и геофизические данные. Плановой базой ГИС является топографическая основа трех пространственных уровней:

- региональный (1 : 1 000 000) – позволяет выявить межгосударственные социально-экономические связи стран и выполнить сравнительный анализ эффективности природопользования и государственной демографической и экономической политики, а также осуществлять мониторинг природно-климатических процессов (опустынивание, воздушный перенос и др.);

- локальный (1 : 200 000–1 : 500 000) обеспечивает исследование трансграничных процессов на уровне административных единиц первого порядка и оценку крупных территориальных образований в пределах бассейнов трансграничных рек и физико-географических областей, а также характеризует региональные внутренние и трансграничные природные и социально-экономические ситуации территории как единого природно-хозяйственного комплекса;

- детальный (1 : 50 000–1 : 100 000) позволяет отобразить местные взаимосвязи административных единиц низшего уровня, выполнить оценку хозяйственной инфраструктуры и трансформации природных ландшафтов, а также позволяет отследить развитие отдельных социально-экономических и природных объектов.

Типизация бассейновых участков по особенностям рельефа выполнена на основе цифровой модели рельефа SRTM (рис. 2).

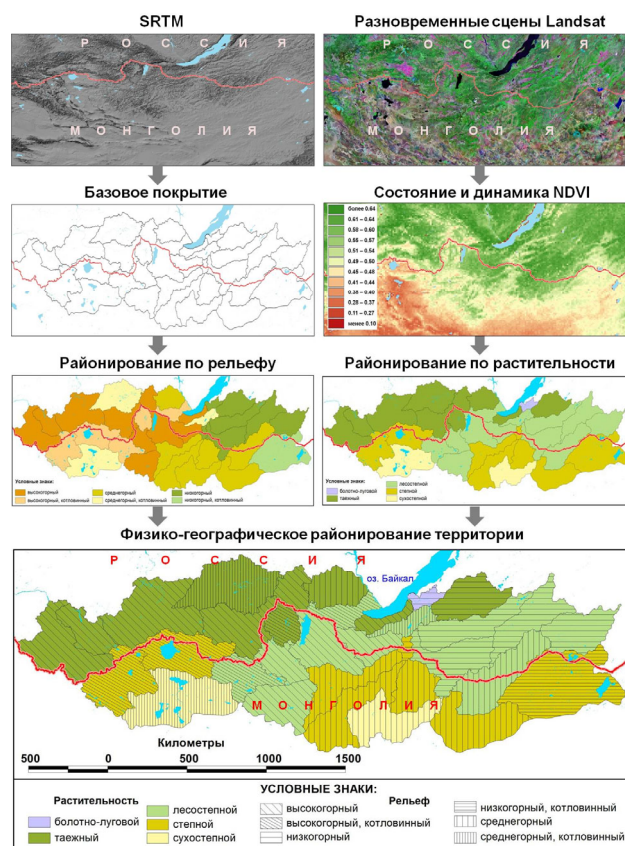


Рис. 2. Схема создания базовых геоинформационных ресурсов

Типизация бассейновых участков по особенностям растительности и анализ изменений растительного покрова на участках исследований осуществлялись с помощью программного пакета ENVI на основе растровых безоблачных спутниковых изображений Landsat (30 м / 1 пиксель) [13]. Изображения отбирали для середины вегетационного периода (конец июля – первая половина августа) с 1982 по 2017 гг. [14, 15]. Характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность. Изменение отражательной способности земной поверхности позволяет использовать космические снимки для идентификации изменений растительного покрова на основе спектральных индексов [16, 17]. Геоданные спектральных индексов обладают высокой степенью интеграции, поэтому достоверность

и надежность оценки территории обеспечивается взаимосвязью с другими видами данных [18, 19]. Спектральные индексы широко применяются при сравнительном анализе состояния растительности агрогенных экосистем [20, 21], для исследования свойств растительных сообществ [22], для решения задач территориального зонирования [23].

Тематическая обработка снимков заключалась в создании растров путем вычисления спектрального индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – количественного показателя фотосинтетической активности биомассы. Это наиболее используемый нормализованный вегетационный индекс, позволяющий дать количественную оценку параметров растительности [24]. Для корректного сопоставления спектральных характеристик их значения рассчитаны в виде коэффициентов от 0 до 1 (см. рис. 2).

### **Обсуждение результатов**

Проведена оценка и анализ современного состояния и долговременных изменений растительного покрова территории на основе вегетационного индекса NDVI. Разнообразие физико-географических условий и изменение климата определяют особенности пространственно-временной динамики растительного покрова последних десятилетий. В Монголии и Байкальском регионе наблюдается малопродуктивный период, который продолжается уже более 20 лет и вносит существенные коррективы в количественные показатели растительных ресурсов [25]. Проведен расчет трендов NDVI для двух периодов: влажного (с 1982 по 1999 гг.) и засушливого (с 2000 по 2015 гг.).

В результате проведенного анализа выявлено, что для 26 % площади территории наблюдается отрицательный тренд NDVI. Для 57 % исследуемой территории наблюдается повышение NDVI. Оставшиеся 17 % занимают пустынные земли с сильно разреженной растительностью с NDVI меньше 0,1. Для российской территории характерны сплошные зоны с отрицательным трендом NDVI для степных районов и положительный тренд NDVI для лесов. Обратная ситуация наблюдается в Монго-

лии: рост значений NDVI для степных районов и падение значения для лесных. Особенностью пространственного распределения трендов для всего региона является соответствие максимальных и минимальных значений участкам с восстановлением леса и обезлесением соответственно. В исследуемом регионе доля отрицательных трендов на территории России и Монголии различается незначительно и составляет 26,5 и 24,7 % соответственно. Доля положительных трендов составляет 71,7 и 46,3 %. Значительная доля положительных трендов NDVI в России объясняется как преимущественно гумидным типом климата, так и положительным трендом осадков на большей части рассматриваемой территории, за исключением Забайкальского края. Сплошные зоны с отрицательным трендом NDVI приурочены к степным и лесостепным ландшафтам в долинах рек межгорных котловин. В восточной части Монголии выделяется значительная сплошная область степной растительности с высокими значениями тренда NDVI. Следует отметить, что хвойные леса на севере территории более подвержены лесным пожарам, что также сказывается на динамике NDVI.

Физико-географическое районирование территории заключалась в подразделении трансграничных бассейнов рек на районы, обладающие внутренним единством и сходными физико-географическими условиями. В результате районирования выделены шесть физико-географических областей и 33 физико-географических района. Каждая область объединяет геосистемы одного бассейна, сходные по возрасту, поверхностным отложениям, рельефу, особенностям гидрографической сети, растительности. Каждый район характеризуется определенным типом ландшафта, складывающимся из преобладающих форм рельефа и доминирующих растительных сообществ (табл. 3).

Механизм реализации ГИС при создании ГИР заключается в геоинформационном картографировании территории и интерактивной работе с базой геоданных. Геоинформационное картографирование осуществляется на основе картографического хранилища векторных данных (рис. 3).

Физико-географическая типология  
трансграничной российско-монгольской территории

Физико-географическая область	Физико-географический район	Площадь (км <sup>2</sup> )	Площадь (%)	Сред. значение NDVI	Цветовое кодирование NDVI
1. Верхнеобская высокогорная таежная приграничная	1.1. Катунский высокогорный таежный	54 909	4,3	0,49	
	1.2. Бия-Телецкий высокогорный таежный	24 711	1,9	0,54	
2. Верхнеенисейская высокогорная таежная приграничная	2.1. Енисейский высокогорный таежный	68 019	5,3	0,51	
	2.2. Большеенисейский высокогорный котловинный таежный	56 763	4,4	0,58	
	2.3. Малоенисейский высокогорный таежный	41 910	3,3	0,54	
	2.4. Дархадский высокогорный котловинный таежный	17 761	1,4	0,43	
3. Большеозерная бессточная высокогорно-котловинная степная трансграничная	3.1. Кобдогольский высокогорный котловинный таежный	50 214	3,9	0,21	
	3.2. Убсунурский высокогорный котловинный степной	49 215	3,8	0,27	
	3.3. Большеозерный высокогорный котловинный сухостепной	77 540	6,1	0,14	
	3.4. Тэсийгольский высокогорный котловинный таежный	31 539	2,5	0,37	
4. Ангаро-Байкальская высокогорная таежная приграничная	4.1. Восточная саяно-Окинский высокогорный таежный	16 594	1,3	0,44	
	4.2. Восточная саяно-Приангарский среднегорный таежный	27 788	2,2	0,60	
	4.3. Иркутно-Байкальский среднегорный котловинный лесостепной	17 448	1,4	0,59	
	4.4. Хамар-Дабанский среднегорный таежный	10 783	0,8	0,63	
5. Селенгинская среднегорно-котловинная лесостепная трансграничная	5.1. Хубсугульско-Эгийнольский среднегорный таежный	42 239	3,3	0,51	
	5.2. Дэлгэрмүрэнский высокогорный таежный	23 096	1,8	0,40	
	5.3. Идэргольский высокогорный таежный	43 350	3,4	0,40	
	5.4. Джидинский среднегорный лесостепной	23 466	1,8	0,60	
	5.5. Верхнеселенгинский среднегорный степной	40 402	3,2	0,50	
	5.6. Орхонский среднегорный степной	51 288	4,0	0,44	
	5.7. Туулский среднегорный сухостепной	48 183	3,8	0,36	
	5.8. Селенгинский низкогорный болотно-луговой	6 703	0,5	0,61	
	5.9. Селенгинско-Гусиноозерский среднегорный котловинный лесостепной	13 493	1,1	0,57	
	5.10. Селенгинско-Орхонский низкогорный степной	4 185	0,3	0,48	
	5.11. Харагольский среднегорный степной	30 951	2,4	0,53	
	5.12. Удинский среднегорный таежный	34 941	2,7	0,57	
	5.13. Хилокский среднегорный лесостепной	38 899	3,0	0,61	
	5.14. Чикойский среднегорный лесостепной	44 476	3,5	0,64	
6. Верхнеамурская среднегорно-котловинная лесостепная трансграничная	6.1. Ингодинский низкогорный лесостепной	37 596	2,9	0,61	
	6.2. Онон-Борзинский низкогорный лесостепной	37 499	2,9	0,51	
	6.3. Онон-Хэнтэйский среднегорный лесостепной	56 126	4,4	0,53	
	6.4. Восточно-Монгольский низкогорный котловинный степной	98 929	7,7	0,34	
	6.5. Керуленский среднегорный степной	59 219	4,6	0,36	

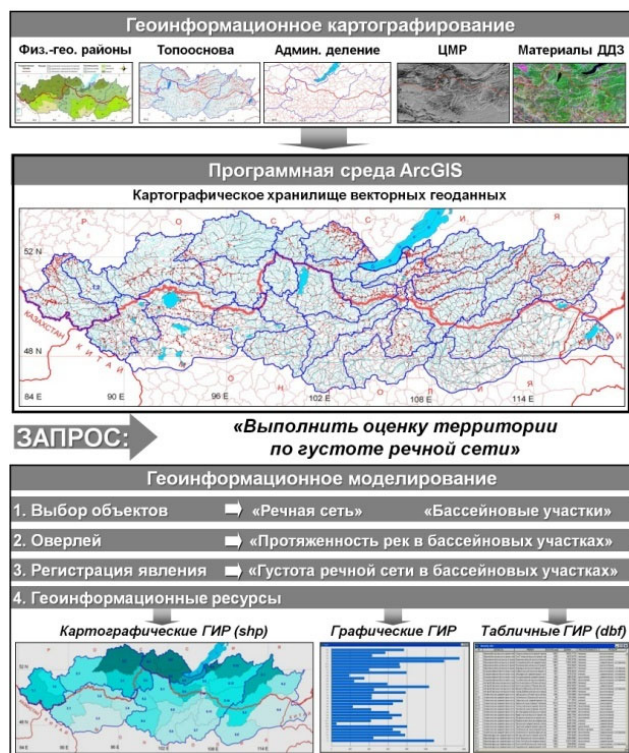


Рис. 3. Интерактивная работа с ГИР

Каждая точка хранилища имеет пространственные координаты и атрибуты всех совмещенных векторных покрытий. Геоинформационная программная среда обеспечивает возможность поддержки рабочих процессов на основе общей базы данных для создания необходимых производных слоев и покрытий посредством манипуляций с элементами содержания. Геоинформационное картографирование представляет собой совокупность операций программной среды и заключается в формировании множества картографических представлений, в которых меняются лишь элементы содержания и способы картографического изображения объектов, а целостность массивов данных сохраняется и не зависит от их комбинирования. Такое программно-управляемое картографирование оптимизирует решение традиционных задач, связанных с выбором математической основы и компоновки карт, позволяет оперативную смену проекции, свободное масштабирование, обеспечено новыми изоб-

разительными средствами и алгоритмами автоматической генерализации и т. п. Кроме того, разработка математической основы, составление и оформление карт, подготовка к изданию реализуются на одном рабочем месте с помощью единой системы логико-математических моделей, в интерактивном режиме. При таком подходе инвентаризационные карты выступают как модели состояния физико-географических районов, аналитические карты – как модели их функционирования, синтетические карты – как модели взаимодействия.

### Заключение

Предложенная модель физико-географического деления территории фиксирует типичные полигональные единицы земной поверхности и является пространственной основой для дальнейшего геоинформационного моделирования и прогнозирования с целью разработки рекомендаций по оптимизации межгосударственного территориального управления и планирования.

Оптимальным решением поставленной задачи будет организация межгосударственной ГИС на основе СУБД ArcGIS, обеспечивающей непрерывный сбор, хранение и актуализацию социоприродных информационных массивов. Реализация такой ГИС позволит интерактивную работу пользователей посредством IMS ArcGIS по принципу облачного вычисления, при котором пользователь задействует вычислительные ресурсы и хранит свои данные на сервере, обращаясь к ним на основании установленного допуска. Внедрение такой информационно-аналитической системы обеспечит руководителей всех уровней необходимыми метрическими показателями и индикаторами, а также алгоритмами их обработки и анализа, позволяющими принимать обоснованные межгосударственные управленческие решения. Такое начало станет предпосылкой к созданию трансграничной инфраструктуры пространственных данных и формированию межгосударственного геоинформационного пространства.

*Статья подготовлена в рамках Государственного задания БИП СО РАН при частичной финансовой поддержке проекта РНФ № 20-17-00207.*



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гриценко В. А., Гуменюк И. С., Белов Н. С. Пространственное изучение сетевого взаимодействия в регионе Вислинского залива с использованием геоинформационных систем // Балтийский регион. – 2013. – № 4. – С. 40–52.
2. Гармс Е. О., Хромых В. В., Сухова М. Г. Использование ГИС в оценке геоморфологических ресурсов для целей рекреации (на примере трансграничного Горного Алтая) // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 940.
3. Красноярова Б. А., Орлова И. В., Рыбкина И. Д. Трансграничная биосферная территория «Алтай»: необходимость и возможность создания // Ползуновский вестник. – 2004. – № 2. – С. 30–38.
4. Винокуров Ю. И., Красноярова Б. А., Селиверстов Ю. П., Суразакова С. П. Трансграничная биосферная территория как вариант устойчивого развития горных территорий // Известия Русского географического общества. – 2002. – Т. 134, № 5. – С. 10–22.
5. Скачедуб Е. А., Калиманов Т. А., Шпота Е. В. Принципы создания информационной системы межгосударственного обмена данными при управлении трансграничным водным объектом // Материалы научно-практической конференции «Современные проблемы мелиорации и водного хозяйства Южного Федерального округа». – Новочеркасск, 2007. – С. 162–168.
6. Головин С. А. Организация работ в области международной и межгосударственной стандартизации в сфере информационных технологий // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия: Приборостроение. – 2011. – № 5. – С. 11–17.
7. Якутин М. В., Дубовик Д. С. О системе показателей мониторинга экосистем сухих степей // Вестник СГУГиТ. – 2012. – Вып. 2 (18). – С. 94–99.
8. Бакланов П. Я., Винокуров Ю. И., Снытко В. А., Тулохонов А. К., Чибилев А. А. Географические и геополитические проблемы устойчивого развития приграничных районов Азиатской России // География и природные ресурсы. – 2003. – № 1. – С. 138–151.
9. Баденков Ю. П. Трансграничные горные территории в условиях глобализации: Алтайский синдром // Изв. РАН. Серия географическая. – 2002. – № 3. – С. 21–28.
10. Ганзей С. С. Международные трансграничные территории как объект геоэкологических исследований: на примере юга Дальнего Востока России и Северо-востока Китая : дисс. ... д-ра геогр. наук. – Владивосток, 2005. – 327 с.
11. Бешенцев А. Н. Геоинформационные ресурсы: особенности, классификация, размещение // Информационные ресурсы России. – 2015. – № 4 (146). – С. 21–26.
12. Михеев В. С., Ряшин В. А. Ландшафты юга Восточной Сибири (карта, М 1 : 1 500 000). – М. : ГУГК, 1977. – 4 листа.
13. Libra [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://libra.developmentseed.org/> (дата обращения 13.03.2019).
14. Гармаев Е. Ж., Аюржанаев А. А., Цыдыпов Б. З., Алымбаева Ж. Б., Содномов Б. В., Андреев С. Г., Жарникова М. А., Батомункуев В. С., Мандах Н., Салихов Т. К., Тулохонов А. К. Оценка пространственно-временной изменчивости засушливых экосистем Республики Бурятия // Аридные экосистемы. – 2020. – Т. 26, № 2 (83). – С. 34–32.
15. Содномов Б. В., Аюржанаев А. А., Цыдыпов Б. З., Гармаев Е. Ж. Оценка антропогенной нарушенности лесов по данным MODIS NDVI // Журнал Сибирского федерального университета. – 2018. – Т. 11, № 8. – С. 902–908.
16. Carlson T. N., Ripley D. A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover and leaf area index // Remote Sensing of Environment. – 1997. – Vol. 62. – P. 241–252.
17. Kushida K., Hobara S., Tsuyuzaki S., Watanabe M., Harada K., Kim Y., Shaver G. R., Fukuda M. Spectral indices for remote sensing of phytomass, deciduous shrubs, and productivity in Alaskan Arctic tundra // International Journal of Remote Sensing. – Vol. 36, Iss. 17. – 2015. – P. 4344–4362.
18. Hatfield J. L., Prueger J. H. Value of Using Different Vegetative Indices to Quantify Agricultural Crop Characteristics at Different Growth Stages under Varying Management Practices // Remote Sensing. – 2010. – № 2. – P. 562–578.
19. Pattison R., Jorgenson J., Raynolds M. et al. Trends in NDVI and Tundra Community Composition in the Arctic of NE Alaska Between 1984 and 2009 // Ecosystems. – 2015. – № 18. – P. 707–719.
20. Алтынцев М. А., Шляхова М. М. Исследование статистических свойств спектральных характеристик растительности. Непараметрический подход // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 58–69.

21. Тарасов А. В. Современные методы оперативного картографирования нарушений лесного покрова // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 201–213.
22. Елсаков В. В., Плюсин С. Н., Щанов В. М. Технологии дистанционного зондирования в исследовании свойств растительных сообществ бассейна р. Новая Нерута // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2006. – Вып. 3, Т. 2. – С. 315–319.
23. Торсунова О. Ф. Использование данных космической съемки сверхвысокого разрешения для решения задач территориального зонирования // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 58–69.
24. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 28–32.
25. Обязов В. А., Смахтин В. К. Многолетний режим стока рек Забайкалья: анализ и фоновый прогноз // Водное хозяйство России. – 2012. – № 1. – С. 63–72.

Получено 22.10.2020

© А. Н. Бешентцев, А. А. Аюржанаев, Б. В. Содномов, 2021

## CREATION OF GIS-RESOURCES FOR PHYSIOGRAPHIC ZONING OF THE TRANSBOUNDARY RUSSIAN-MONGOLIAN TERRITORY

*Andrew N. Beshentsev*

Baikal Institute of Nature Management SB RAS, 6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670042, Russia, D. Sc., Professor of RAS, Head of Laboratory, phone: (301)243-36-76, e-mail: abesh@mail.ru

*Alexander A. Ayurzhanaev*

Baikal Institute of Nature Management SB RAS, 6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670042, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (301)243-36-76, e-mail: ayurzhanaev@binm.ru

*Bator V. Sodnomov*

Baikal Institute of Nature Management SB RAS, 6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670042, Russia, Lead Engineer, phone: (301)243-36-76, e-mail: sodnomov@binm.ru

The article is aimed at the development of methodological foundations for the creation of geoinformation resources of transboundary territories based on cartographic materials and remote sensing data, as well as physical and geographical zoning of the transboundary Russian-Mongolian territory. The methodological basis of the study is cartographic and statistical research methods, geoinformation technology, as well as processing and analysis of remote sensing data. As a result, the study determines the features of geoinformation resources, presents their characteristics, develops a classification and substantiates their integrating value in making interstate territorial decisions. The article gives the physical and geographical characteristics of the territory, determines the scale of mapping, establishes the basic units of geoinformation mapping and modeling, creates the coverage of the basin division, and proposes a scheme for creating basic geoinformation resources for the physical and geographical zoning of the territory. Based on the analysis of the digital elevation model, the territory was zoned according to the morphometric parameters of the relief. As a result of processing and analysis of Landsat images at different times, the territory was zoned in terms of the amount of photosynthetically active biomass (NDVI). As a result of zoning, 6 physical-geographical regions and 33 physical-geographical areas were identified.

**Keywords:** geoinformation resources, transboundary territory, river basins, GIS, NDVI, mapping, interstate information interaction

## REFERENCES

1. Gritsenko, V. A., Gumenyuk, I. S., & Belov, N. S. (2013). Spatial study of network interaction in the Vistula Lagoon region using geographic information systems. *Baltiyskiy region [Baltic Region]*, 4, 40–52 [in Russian].
2. Garms, E. O., Khromykh, V. V., & Sukhova, M. G. (2013). The use of GIS in the assessment of geomorphological resources for recreational purposes (on the example of transboundary Altai Mountains). *Sovremennyye problemy i obrazovaniya [Modern Problems and Education]*, 6, P. 940 [in Russian].

3. Krasnoyarova, B. A., Orlova, I. V., & Rybkina, I. D. (2004). Transboundary Biosphere Territory "Altai": Possibility of Creation. *Polzunovskiy vestnik [Polzunovsky Bulletin]*, 2, 30–38 [in Russian].
4. Vinokurov, Yu. I., Krasnoyarova, B. A., Seliverstov, Yu. P., & Surazakova, S. P. (2002). Transboundary Territory as a Sustainable Development of Mountain Territories. *Izvestiya russkogo geograficheskogo obshchestva [Bulletin of the Russian Geographical Society]*, 134(5), 10–22 [in Russian].
5. Skachedub, E. A., Kalimanov, T. A., & Shpota, E. V. (2007). Principles of creating an information system for interstate data exchange in a transboundary water body. In *Sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferentsii: Sovremennyye problemy melioratsii i vodnogo khozyaystva Yuzhnogo Federal'nogo okruga [Proceedings of the Scientific and Practical Conference: Modern Problems of Land Reclamation and Water Management in the Southern Federal District]* (pp. 162–168). Novocherkassk [in Russian].
6. Golovin, S. A. (2011). Organization of work in the field of international and interstate standardization in the field of information technology. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Seriya: Priborostroyeniye [Vestnik MGTU im. N. E. Bauman. Series: Instrumentation]*, S, 11–17 [in Russian].
7. Yakutin, M. V., & Dubovik, D. S. (2012). On the system of indicators for monitoring ecosystems of dry steppes. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(18), 94–99 [in Russian].
8. Baklanov, P. Ya., Vinokurov, Yu. I., Snytko, V. A., Tulokhonov, A. K., & Chibilev, A. A. (2003). Geographic and geopolitical problems of the development of bordering Asian Russia. *Geografiya i prirodnyye resursy [Geography and Natural Resources]*, 1, 138–151 [in Russian].
9. Badenkov, Yu. P. (2002). Transboundary mountain areas in the context of globalization: Altai syndrome. *Izvestiya RAN [Bulletin of the RAS]*, 3, 21–28 [in Russian].
10. Ganzel, S. S. (2005). International transboundary territories as an object of geocological research: On the example of the south of the East of Russia and the North-East of China. *Doctor's thesis*. Vladivostok, 327 p. [in Russian].
11. Beshentsev, A. N. (2015). Geographic information resources: features, classification, placement. *Informatsionnyye resursy Rossii [Information Resources of Russia]*, 4(146), 21–26 [in Russian].
12. Mikheev, B. S., & Ryashin, V. A. (1977). *Landscapes of the south of Eastern Siberia (map, M 1 : 1 500 000)*. Moscow: GUGK, 4 sheets [in Russian].
13. Libra (n. d.). Retrieved from <https://libra.developmentseed.org> (date of access 13.03.2019).
14. Garmaev, E. Zh., Ayurzhanayev, A. A., Tsydypov, B. Z., Alymbaeva, Zh. B., Sodnomov, B. V., Andreev, S. G., Zharnikova, M. A., Batomunkuev, V. S., Mandakh, N., Salikhov, T. K., Tulokhonov, A. K. (2020). Assessment of spatio-temporal variability of arid ecosystems of the Republic of Buryatia. *Aridnyye ekosistemy [Arid Ecosystems]*, Vol. 26, No. 2(83), 34–32 [in Russian].
15. Sodnomov, B. V., Ayurzhanayev, A. A., Tsydypov, B. Z., & Garmaev, E. Zh. (2018). Assessment of anthropogenic disturbance of forests according to MODIS NDVI data. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta [Journal of the Siberian Federal University]*, 11(8), 902–908 [in Russian].
16. Karlson, T. N., & Ripley, D. A. (1997). On the relationship between NDVI, the proportion of vegetation cover and the leaf surface index. *Remote Sensing of the Environment*, 62, 241–252
17. Kushida, K., Khobara, S., Tsuyuzaki, S., Watanabe, M., Harada, K., Kim, Yu., Shaver, G., & Fukuda, M. (2015). Spectral indices for remote sensing of phytomass, deciduous shrubs and productivity in the Arctic tundra of Alaska. *International Journal of Remote Sensing*, 36(17), 4344–4362.
18. Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2010). The value of using different vegetative indices for quantifying the characteristics of crops at different stages of growth under different management practices. *Remote Sensing of the Environment*, 2, 562–578.
19. Pattison, R., Jorgenson, J., & Reynolds, M. (2015). Trends in NDVI and composition of tundra communities in the Arctic northeastern Alaska from 1984 to 2009. *Ecosystems*, 18, 707–719.
20. Altyntsev, M. A., & Shlyakhova, M. M. (2019). Study of the statistical properties of spectral characteristics of vegetation. Nonparametric approach. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(4), 58–69 [in Russian].
21. Tarasov, A. V. (2020). Modern methods of operational mapping of forest cover violations. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(3), 201–213 [in Russian].
22. Elsakov, V. V., Plyusnin, S. N., & Shchanov, V. M. (2006). Remote sensing technologies in the study of the properties of plant communities in the river basin Novay Neruta. *Sovremennyye problemy dstantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space]*, 2, 315–319 [in Russian].
23. Torsunova, O. F. (2018). The use of ultra-high resolution satellite imagery data for solving problems of territorial zoning. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(2), 58–69 [in Russian].

24. Cherepanov, A. S., & Druzhinina, E. G. (2009). Spectral properties of vegetation and vegetation indices. *Geomatika [Geomatics]*, 3, 28–32 [in Russian].

25. Obyazov, V. A., & Smakhtin, V. K. (2012). Long-term flow regime of the rivers of Transbaikalia: analysis and background forecast. *Vodnoye khozyaystvo Rossii [Water Industry of Russia]*, 1, 63–72 [in Russian].

Received 22.10.2020

© A. N. Beshentsev, A. A. Ayurzhanayev, B. V. Sodnomov, 2021