

Опыт применения геоинформационных данных в оценке постпожарного восстановления растительного покрова

Ж. В. Атутова ✉

*Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения
Российской академии наук, Российская Федерация
(664033, Иркутск, Улан-Баторская, 1)*

Аннотация. Цель работы – рассмотреть возможности применения показателей вегетационных индексов растительности в оценке перспективности лесовосстановления на гарях.

Материалы и методы. Исследования опирались на результаты мониторинговых экспедиционных наблюдений в сосновых лесах урочища Бадары национального парка «Тункинский» после прошедших в 2010 году пожаров, охвативших треть территории. За период 2014-2020 годов изучена специфика породного состава древостоя, кустарникового яруса и живого напочвенного покрова. На основе сформированной базы геоботанических данных рассмотрено их соотношение с показателями вегетационных индексов NDVI и EVI, полученными в результате обработки геоинформационных материалов среднего пространственного разрешения. Были выбраны значения вегетационных индексов, соответствующие дате проведения полевых исследований, а также значения на контрольные даты зимнего периода и периодов начала, середины и окончания фаз вегетации.

Результаты и обсуждение. Полученный массив данных позволил выявить особенности динамики показателей NDVI и EVI как в пространстве, так и во времени. На гарях в период 2010-2019 годов отмечена флуктуация значений вегетационных индексов почти в каждой сезонной группе, что соотносится с геоботаническими параметрами, имеющими восходящую динамику данных. В лесах, не затронутых пожарами, а значит находящихся в устойчивых экологических условиях, показатели NDVI и EVI оставались стабильными или имели небольшое колебание. Отмечено, что для NDVI характерно завышение значений, особенно в пик вегетации; показатели EVI отличаются большей достоверностью.

Выводы. Разновременный анализ продемонстрировал, что и натурные данные, и показатели NDVI и EVI указывают на успешность протекания процессов лесовосстановления. Однако изучение значений вегетационных индексов не может рассматриваться в качестве самостоятельного источника информации в оценке процессов демутиации.

Ключевые слова: вегетационный индекс, NDVI, EVI, гарь, мониторинг, лесовосстановление.

Источник финансирования: Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А21-121012190017-5).

Для цитирования: Атутова Ж. В. Опыт применения геоинформационных данных в оценке постпожарного восстановления растительного покрова // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 3, с. 4-13. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/4-13>

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность применения данных дистанционного зондирования в научных исследованиях не требует своего подтверждения. Широкий спектр объектов спутниковой системы наблюдения Земли, выполняющих с регулярной частотой и в больших объемах фиксацию наземной обстановки, способствует формированию банка разновременных данных, незаменимых для целей мониторинга. Особую значимость на фоне глобальных климатических изменений и интенсификации антропогенного воздействия получили наблюдения за лесными пожарами.

Наиболее остро решения проблемы минимизации риска возникновения пожаров требуют леса, являющиеся резерватами уникальных ландшафтов. В централь-

ной части национального парка «Тункинский» (Республика Бурятия, Россия) находится урочище Бадары, в пределах которого распространены сосновые боры – природный эталон горно-котловинных светлохвойных лесов региона. Несмотря на охранный статус, сосняки урочища многократно подвергались пожарам. Из-за частой горимости и значительной трансформации особо актуальным становится прогнозирование успешности воспроизводства утраченных сосняков с целью сохранения ландшафтной уникальности и биологического разнообразия. Наиболее достоверным инструментом в решении данного рода вопросов является проведение долговременных мониторинговых наблюдений за послепожарным лесовозобновлением.



Исследования на горяч урочища Бадары ведутся нами с 2014 года. Собранный за девятилетний период геоботанический материал позволяет сделать предварительные прогнозы о перспективах возобновления сосновых лесов [1, 3]. Подтверждающим инструментом полученных выводов могут стать геоданные, характеризующие запас фитомассы, а именно вегетационные индексы, пространственное распределение величины

которых указывает на характер и плотность растительности [2]. Возможности их применения для целей изучения динамики биоценозов широко освещены [5, 6, 8, 12, 13, 16]. Особо актуальными являются исследования изменений ландшафтно-экологических условий функционирования фитоценозов (например, на горяч) и ответной реакции среды через показатели вегетационных индексов [2, 7, 10, 11, 14, 15, 20].

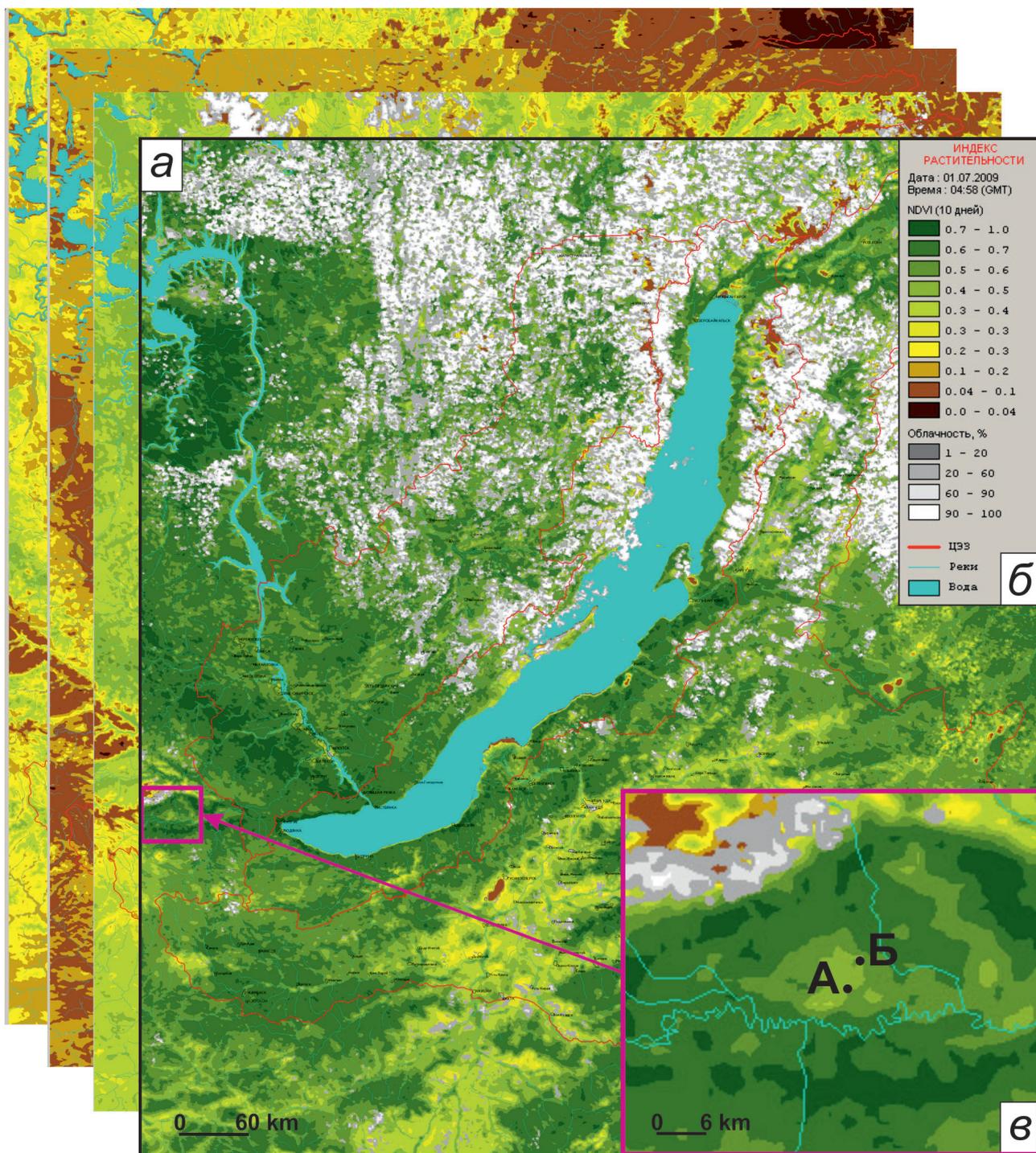


Рис. 1. Пример изображения десятидневного вегетационного индекса NDVI на Байкальскую природную территорию (а), с легендой (б) и обозначенным районом исследования (в)
 [Fig. 1. An example of an image of a ten-day NDVI vegetation index for the Baikal natural area (a), with a legend (b) and a designated study area (v)]

В своем исследовании нами использованы общедоступные материалы обработки дистанционной информации, размещенные на сайте *sputnik.irk.ru*¹, где представлен массив геоинформационных продуктов, составленных в рамках проведения космического мониторинга Байкальской природной территории. Для нашего исследования, цель которого заключалась в анализе динамики постпирогенного лесовосстановления на основе синтеза геоинформационных материалов и натуральных геоботанических данных, выбор пал на декадные композиты по безоблачным участкам, характеризующие вегетационные индексы NDVI и EVI. Предстояло оценить возможность применения геоинформационных материалов в качестве основного инструмента при анализе процессов демуляции на территориях, пройденных пожарами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Геоботанической основой для решения поставленных задач послужили материалы ранее проведенных исследований перспективности лесовосстановления в сосняках урочища Бадары, в которых подробно представлены методы выполнения натуральных наблюдений [1, 3]. В качестве ключевого района исследования рассмотрена гарь, образованная весенним пожаром 2010 г. (площадка А), севернее которой, в 3,3 км, находится участок с сосновыми средневозрастными лесами с подлеском из рододендрона даурского и зеленомошно-травяно-кустарничковым напочвенным покровом (фоновая площадка Б).

Для данного исследования представлены материалы натуральных наблюдений за 2014-2020 годы. Информация о ландшафтном состоянии исследуемой территории в первые послепожарные 2011-2013 годы базировалась на анализе фотографических материалов сотрудников Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН (город Иркутск) и Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (го-

род Томск), осуществляющих здесь круглогодичные наблюдения за температурным режимом почв [3, 21].

Для целей исследования отобраны показатели вегетационных индексов NDVI и EVI с 2009 года (за год до прохождения пожара) по 16.07.2019 год (дата публикации последнего геоинформационного продукта), которые представлены в классифицированном виде в формате PNG (рис. 1). Их базой служат ежедневно публикуемые снимки, полученные с помощью спектро-радиометра MODIS с пространственным разрешением 1000 м. Привязка координат площадок наблюдения проводилась в программе Global Mapper, куда были импортированы сопровождающие каждый геоинформационный продукт вещественный массив данных в формате TIFF, а также географический файл привязки в формате TFW.

Для каждого года (с 2009 по 2019) отобраны изображения, характеризующие десятидневные показатели, полученные 1 января, 30 апреля, 1 июля и 30 сентября. Однако в случаях наличия облачности использовались материалы, полученные в близкие к ранее обозначенным даты. В целом для площадок А и Б за каждый год анализировались по четыре подекадных схемы индексов NDVI и EVI – за зимний период, а также начало, середину и окончание вегетационного периода. Также были отобраны изображения, соответствующие датам рекогносцировочных посещений и натуральных геоботанических наблюдений. Всего было рассмотрено 95 продуктов.

Критерием оценки состояния фитоценоза при анализе геоданных является интерпретация значений вегетационных индексов. Диапазон показателей ограничен значениями от -1,0 до +1,0, которые прямо пропорциональны количеству фитомассы [12]. В легендах изображений не приводится интерпретация значений, однако указана ссылка на материалы, где представлена следу-

Таблица 1

Показатели NDVI ключевого района урочища Бадары
[Table 1. NDVI indicators in the key area of the Badary area]

Дата, год / Date, year	01.01		30.04		01.07		30.09	
	гарь / burnt area	фон / back-ground						
2009	0,2-0,3	0,1-0,2	0,3-0,4	0,3	0,4-0,5	0,6-0,7	0,3-0,4	0,3-0,4
2010	0,2-0,3	0,1-0,2	0,3-0,4	0,3	0,4-0,5	0,5-0,6	0,3-0,4	0,3-0,4
2011	0,1-0,2	0,1-0,2	0,3	0,3	0,3-0,4	0,5-0,6	0,3	0,3-0,4
2012	0,1-0,2	0,1-0,2	0,3	0,3	0,5-0,6	0,5-0,6	0,3	0,3-0,4
2013	0,04-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3	0,4-0,5	0,5-0,6	0,3	0,3-0,4
2014	0,1-0,2	0,1-0,2	0,3	0,3	0,4-0,5	0,5-0,6	0,3-0,4	0,3-0,4
2015	0,1-0,2	0,1-0,2	0,3	0,3	0,4-0,5	0,5-0,6	0,3-0,4	0,4-0,5
2016	0,04-0,1	0,1-0,2	0,3	0,3	0,4-0,5	0,5-0,6	0,3-0,4	0,3-0,4
2017	0,1-0,2	0,1-0,2	0,3	0,3	0,4-0,5	0,5-0,6	0,3-0,4	0,3-0,4
2018	0,1-0,2	0,1-0,2	0,3-0,4	0,3	0,5-0,6	0,5-0,6	0,4-0,5	0,4-0,5
2019	0,2-0,3	0,1-0,2	0,3-0,4	0,3	0,5-0,6	0,5-0,6	нет данных	нет данных

¹ Спутниковые данные дистанционного зондирования Земли. – URL: <http://sputnik.irk.ru/> (дата обращения: 16.01.2023). – Текст: электронный.

² Спутниковые данные дистанционного зондирования Земли. – URL: <http://sputnik.irk.ru/> (дата обращения: 16.01.2023). – Текст: электронный.

ющая градация NDVI: 0-0,025 – облака, 0,025-0,5 – открытая почва, 0,5-0,7 – разреженная растительность, более 0,7 – густая растительность².

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выбранные показатели вегетационных индексов позволили рассмотреть их изменчивость на горях и на незатронутых пожаром участках урочища Бадары. Анализируя данные NDVI, замечена их стабильность на фоновой территории для каждой фазы вегетации в

течение всего времени наблюдений (табл. 1). В начале вегетационного периода индекс ежегодно был равен 0,3. Это значение находится в середине интервала, характерного для открытой почвы. Однако натурные наблюдения выявили высокую сомкнутость древостоя, средняя высота которого составила 15 м (рис. 3а). Из-за лимита доступа солнечной радиации отсутствовал светолюбивый сосновый подрост. Средние высоты кустарников варьировали от 15-25 см до 40-60 см.



Рис. 2. Ландшафтно-экологическое состояние ключевых участков урочища Бадары: а – фоновая площадка Б; площадка А: б – октябрь 2011 года, в – май 2014 года, г – июль 2016 года, д – июль 2017 года, е – июль 2018 года, ж – июль 2019 года, з – август 2020 года
[Fig. 2. Landscape and ecological state of key areas in the Badary area: а –site B; site A: б – October 2011, в – May 2014, г – July 2016, д – July 2017, е – July 2018, ж – July 2019, з – August 2020]

В пик вегетации NDVI стабильно держался на уровне 0,5-0,6, интерпретируемый как разреженный растительный покров. На площадке Б, действительно, отмечен скудный напочвенный покров, развитие которого сдерживает хвойный опад; проективное покрытие составляло 30 %. Травянистые встречались рассеянно, в небольшом количестве. Значения индекса по завершению периода вегетации в большинстве случаев составляли 0,3-0,4; в 2015 и 2018 годы были равны 0,4-0,5. Тем не менее, все показате-

тели находились в пределах значений, характерных для открытой почвы.

Стабильность показателей наблюдалась также в значениях EVI (табл. 2), которые были в пределах наиболее низких значений интервала, характерного для открытой почвы (0,04-0,2), за исключением июльских (0,3-0,4). Полученными результатами в пределах лесной фоновой площадки подтверждено, что динамике вегетационных индексов для территорий распространения хвойных при- сущ небольшой разброс значений и постоянный ход [6].

Таблица 2

Показатели EVI ключевого района урочища Бадары
[Table 2. EVI indicators in the key area of the Badary area]

Дата, год / Date, year	01.01		30.04		01.07		30.09	
	гарь / burnt area	фон / back-ground						
2009	0,04-0,1	0,04-0,1	0,1-0,2	0,04-0,1	0,2-0,3	0,3-0,4	0,04-0,1	0,04-0,1
2010	0,04-0,1	0,04-0,1	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2	0,3-0,4	0,04-0,1	0,1-0,2
2011	0,04-0,1	0,04-0,1	0,04-0,1	0,1-0,2	0,1-0,2	0,3-0,4	0,04-0,1	0,1-0,2
2012	0,04-0,1	0,04-0,1	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2	0,3-0,4	0,04-0,1	0,04-0,1
2013	0,04-0,1	0,04-0,1	0,04-0,1	0,04-0,1	0,1-0,2	0,3-0,4	0,04-0,1	0,04-0,1
2014	0,04-0,1	0,04-0,1	0,04-0,1	0,04-0,1	0,2-0,3	0,3-0,4	0,04-0,1	0,1-0,2
2015	0,04-0,1	0,04-0,1	0,04-0,1	0,1-0,2	0,1-0,2	0,3-0,4	0,04-0,1	0,1-0,2
2016	0,04-0,1	0,04-0,1	0,1-0,2	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,04-0,1	0,1-0,2
2017	0,04-0,1	0,04-0,1	0,1-0,2	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,04-0,1	0,04-0,1
2018	0,04-0,1	0,04-0,1	0,1-0,2	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,1-0,2	0,1-0,2
2019	0,04-0,1	0,04-0,1	0,1-0,2	0,1-0,2	0,3	0,3-0,4	нет данных	нет данных

Однако, низкие значения индексов при высоких показателях сомкнутости древостоя в пределах фоновой территории свидетельствует о том, что либо вегетационные индексы не чувствительны к древесному ярусу растительности [11], либо их трактовка значений должна производиться с учетом эколого-географических особенностей развития биоценозов для каждой конкретно изучаемой территории [2, 6]. В ходе анализа материалов по интерпретации показателей NDVI мы остановились на ранжировании, учитывающим сезоны года – в летний период значения NDVI отражают степень развития зеленой биомассы, в зимний – плотность покрытия хвойными лесами [4]. Урочище Бадары в ландшафтном плане характеризуется развитием на пологих склонах волнисто-увалистого рельефа светлохвойных сосновых травяных с кустарниковым подлеском групп фаций [1], что позволило применить предлагаемую шкалу, согласно которой в летний период показатели в интервале 0,04-0,2 указывают на отсутствие растительности, 0,2-0,3 – на низкую степень развития зеленой биомассы, 0,3-0,6 – на среднюю степень, более 0,6 – на высокую степень развития. В зимний период значения 0,04-0,2 говорят об отсутствии хвойной растительности (в том числе из-за снежного покрова), 0,2-0,25 указывают, что плотность покрытия хвойными лесами составляет 10 %, 0,25-0,3 – 20 %, 0,3-0,35 – 30 % ... 0,8-0,9 – 100 %.

Используя новую градацию, зимние показатели NDVI на протяжении всего периода наблюдений могут указывать на заснеженность фоновой территории [18]. В теплый период степень развития фитомассы в начале вегетационного периода была низкой, в июле-августе – средней (в 2019 году – высокой); в конце периода – средней, что можно считать данными, отвечающими реальной природной обстановке. Показатели EVI в начале и по завершении вегетационного периода зафиксированы на уровне отсутствия растительности, а в середине – на уровне средней степени развития. Возможно, низкие значения отмечались из-за высокой сомкнутости древостоя, препятствующего обильному развитию травяного покрова. Январские показатели указывали на заснеженность территории.

На гари индексы демонстрируют флуктуационную активность. За год до пожара значения NDVI в течение вегетационного периода составляли 0,3-0,5 (средняя степень развития зеленой биомассы). Обследование в начале октября 2011 года, через год после прохождения пожара, выявило сохранение на корню основной части древостоя. Травяной сухостой свидетельствовал о возобновлении напочвенного покрова. Значения NDVI в год возникновения пожара были аналогичны данным предыдущего года, что оправдано для январских и апрельских показателей, полученных до пожара, но труднообъяснимо для июльских и сентябрьских, то есть для свежих гарей. Возмож-

но, при интерпретации снимков среднего пространственного разрешения для небольшой территории сказались влияние физических свойств поверхности соседних территорий, что проявляется в разнице значений пикселей снимка и приводит к ошибочной характеристике оптических свойств, завышая значения в летний период и искажая конфигурацию фрагментов [6, 8, 9, 20].

Значения EVI за год до пожара составляли от 0,04 в конце вегетационного периода до 0,3 в пик вегетации. Годом позднее показатели начала и окончания периода вегетации были аналогичны прошлогодним. Июльские значения 2010 года были ниже прошлогодних, то есть были зафиксированы изменения, вызванные возгоранием. В первый послепожарный год индекс NDVI на дату обследования (13.10.2011) равен 0,2-0,3 (низкая степень развития зеленой биомассы), EVI – 0,04-0,1 (открытая почва), что, в целом, совпадает с реальностью (рис. 3б). В 2012 году, как и годом ранее, значения NDVI и EVI соответствовали природному состоянию (низкая степень развития растительности, открытая почва). В июне 2013 года, несмотря на начало вегетации и невысокие средние показатели высоты травостоя (15-20 см), а также его низкое проективное покрытие (20%), значения NDVI 0,3-0,4 на дату обследования (12.06.2013) указывали на среднюю степень развития растительности. EVI с показателями 0,1-0,2 (верхние пределы интервала отсутствия растительности) был более соответствующим реальной картине.

В июне 2014 года продолжался процесс усыхания и вывала древостоя (рис. 3в). Отмечено возобновление березы повислой. Зафиксированы годовые всходы сосны обыкновенной. Проективное покрытие травяного покрова составило 40-50%. NDVI на дату обследования 05.06.2014 имел высокий показатель – 0,3-0,4 (средняя степень развития растительности). Значение EVI 0,1-0,2 (отсутствие растительности) – более реалистично. Повышение значений NDVI в середине вегетационного периода свидетельствует о влиянии проективного покрытия травостоя, что подтверждается снизившимися показателями по завершении вегетации.

В 2016 году на гари наблюдались обильные всходы сосны обыкновенной со средними высотами 25-30 см (рис. 3г). Проективное покрытие древесного подроста составляло 20-30%, напочвенного покрова – 50-60%. Индекс NDVI (25.07.2016) равен 0,4-0,5 (средняя степень развития зеленой биомассы), EVI был более близок к геоботаническому показателю – 0,2-0,3 (низкая степень развития фитомассы). В 2017 году незначительно увеличилось обилие кустарников, средняя высота которых была 25-35 см. Проективное покрытие древесного подроста составило 30-40%, напочвенного покрова – 60-70% (рис. 3д). Несмотря на увеличение геоботанических показателей, значения индексов остались прежними: NDVI (12.07.2017) равен 0,4-0,5 (средняя степень развития фитомассы), EVI – 0,2-0,3 (низкая степень). Как в прошлогодний период, значения NDVI показали завышенное значение.

В 2018 году средняя высота обильного соснового подростка увеличилась до 70 см; проективное покрытие оценивалось в 40-50%. Обилие, средняя высота и проективное покрытие кустарников увеличились. Показатели проективного покрытия травостоя остались на уровне прошлогодних (рис. 3е), однако, значения вегетационных индексов увеличились: NDVI (17.07.2018) равен 0,5-0,6 (верхние пределы интервала средней степени развития зеленой биомассы), EVI – 0,3 (нижние пределы этого же интервала). Возможно, это связано с увеличением проективного покрытия соснового подростка и обилия кустарников. Причем, геоботаническое обследование свидетельствует о завышенных значениях индексов. Пограничный показатель EVI, как более реалистичный, сравнивая со значением на 01.07.2018 (0,2-0,3), справедливее отнести к верхнему пределу интервала низкой степени развития фитомассы.

Геоботанические наблюдения в 2019 году не проводились. На 01.07.2019 значения NDVI находились у верхних пределов интервала средней степени развития зеленой биомассы (0,5-0,6), EVI – у верхних пределов низкой степени (0,3). База геоизображений вегетационных индексов на портале *sputnik.irk.ru* после 16.07.2019 не пополнялась. В целом, сравнивая показатели с визуальным осмотром, можно констатировать, что натурному состоянию в анализируемый период в очередной раз более соответствуют показатели EVI.

Для отражения динамики процесса лесовосстановления приводим полевые данные начала августа 2020 года. Сравнивая их с визуальным осмотром в 2019 году (рис. 3ж), отмечено значительное увеличение высоты соснового подростка, достигавшего 2,5 м (рис. 3з). Диапазон высоты травостоя составил 10-85 см; проективное покрытие – 60-70%. Средняя высота кустарников составила 35-40 см, кустарничков – 15 см. В отсуствии данных NDVI и EVI, ориентируясь на геоботаническое обследование, состояние растительности можно соотносить с нижними границами интервала средней степени развития фитомассы.

Разновременный ход значений вегетационных индексов для гари демонстрирует прогрессирующую динамику из показателей в сторону восстановления уровней, характерных для периода, предшествующего возгоранию. При этом отмечено, что значения индексов на завершающем этапе наблюдений были равны или даже превышали допожарные. Так, сравнивая показатели NDVI и EVI (см. табл. 2, 3), заметно, что июльские значения в допожарном 2009 году для лесного участка со скудным травяным покровом (см. рис. 3а) были ниже показателей для безлесного участка гари с развитым травостоем и часто встречающимися древесным подростом в 2019 году (см. рис. 3ж). Это можно считать подтверждением отсутствия или очень слабой чувствительности вегетационных индексов к древесной растительности.

Июльские показатели NDVI не демонстрируют чувствительность к смене экологических условий, вызванных пожаром. В ходе анализа 11-летних данных

(см. табл. 1) отмечено незначительное снижение значений только через год после пожара. Для свежих гарей значения были равны прошлогодним, а во второй послепожарный 2012 год показатель и вовсе превышал допожарный индекс. Скорее всего, имеет место связь вегетационных индексов с климатическими условиями местности.

Основываясь на натуральных наблюдениях, подтверждено, что более реалистичную картину показывает EVI, значения которого чувствительны к сигналу вегетирующей растительности в районах с высоким уровнем растительной биомассы [5, 10, 17, 20, 22]. 11-летние данные EVI на гари демонстрируют колебательную динамику в весенний и летний периоды, реагируя на смену растительных сообществ в ходе естественного развития, возгорания и последующего лесовосстановления (и, скорее всего, в совокупности с климатическими флуктуациями). Восприимчивость EVI к естественным природно-климатическим условиям показывают весенние и осенние значения на фоновой территории. Если июльские значения остаются стабильными на протяжении 2009-2019 годов, то в межсезонье заметна неустойчивость значений.

В целом, о постпирогенном восстановлении должна будет свидетельствовать многолетняя стабильность значений вегетационных индексов во все сезоны вегетации, что подтверждается показателями для фоновой территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный эксперимент синтезированного применения натуральных геоботанических материалов и геоданных среднего пространственного разрешения в оценке динамики лесовосстановления на гарях урочища Бадары позволяет сделать вывод о том, что использование вегетационных индексов в качестве основного инструмента при анализе нарушенных территорий спорно. Не всегда их значения совпадают с реальной природной обстановкой. Участок геоизображения с определенным показателем вегетационного индекса при натурном исследовании может относиться к различным ландшафтными комплексам [2]. Очевидно, что универсальных интерпретаций значений индексов быть не может, для каждой отдельно взятой территории со своими ландшафтными особенностями требуется корректировка и индивидуальное ранжирование. Нет уверенности в том, что экстраполяция данных на территории-аналоги покажет объективную ситуацию лесовосстановления на пирогенно трансформированных территориях.

Остается непонятным, чувствительны ли геоданные к древесной растительности, хотя зачастую исследователям удается с помощью вегетационных индексов определять физиономические типы растительности [2]. Наши наблюдения не дают однозначный ответ, хотя, несмотря на невысокое разрешение снимков, выявленная разница в значениях вегетационных индексов гари и фонового участка, находящихся друг от друга в 3,3 км, позволяет предположить, что древесный ярус принимается в расчет. Кроме этого, визуальный анализ геоизображе-

ний NDVI зимнего периода на всю Байкальскую природную территорию демонстрирует мозаичность контуров, часть которых гипсометрически совпадает со склонами, семиотически обозначенными как лесные. Это, кстати, подтверждает тезис о том, что для исследований на глобальном и региональном уровнях индекс NDVI считается наиболее удачным геоинформационным продуктом оценки растительного покрова [6]. Анализ аналогичных материалов для EVI выявил отсутствие чувствительности к вечнозеленым хвойным лесам; динамика его значений в фазу пика вегетации указывает, скорее всего, на изменение проективного покрытия травяного покрова и кустарникового яруса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атутова Ж. В. Постпирогенное восстановление подтаежных светлехвойных геосистем Тункинской котловины, Юго-Западное Прибайкалье (на примере сосновых лесов урочища Бадары) // *Географический вестник*, 2022, № 4 (63), с. 6-18.
2. Братков В. В., Атаев З. В. Вегетационные индексы и их использование для картографирования горных ландшафтов Российского Кавказа // *APRIORI. Серия: Естественные и технические науки*, 2017, № 1, с. 3-23.
3. Воропай Н. Н., Атутова Ж. В., Шуклина Е. С. Многолетняя динамика температуры почвы пирогенно трансформированных геосистем Тункинской котловины (Юго-Западное Прибайкалье) // *География и природные ресурсы*, 2022, т. 43, № 2, с. 132-145.
4. Гребень А. С., Красовская И. Г. Анализ основных методов прогнозирования урожайности с помощью данных космического мониторинга, применительно к зерновым культурам степной зоны Украины // *Научно-технический журнал*, 2013, № 1 (7), с. 105-119.
5. Использование данных дистанционного зондирования для ранней диагностики наступления засушливых условий / Е. А. Дунаева, Д. Е. Плотников, С. А. Хвостиков и др. // *Таврический вестник аграрной науки*, 2019, № 4 (20), с. 28-45.
6. Использование индексных изображений при дешифрировании растительного покрова Внутригорного Дагестана. / Р. Т. Раджабова, Н. А. Алексеев, Б. М. Курамагомедов и др. // *Юг России: экология, развитие*, 2020, т. 15, № 4, с. 126-136.
7. Кадетов Н. Г., Гнеденко А. Е. Подходы к картографированию пройденных пожаром лесов в условиях заповедного режима // *Географический вестник*, 2019, № 2 (49), с. 148-157.
8. Ландшафтная интерпретация различий сезонной динамики вегетационного индекса EVI поверхности пахотных земель Брянской области / Г. В. Лобанов, А. Ю. Чарочкина, М. В. Авраменко, Н. Н. Дроздов // *Вестник СВФУ. Серия «Наука о Земле»*, 2020, № 3 (19), с. 25-35.
9. Применимость спутниковых продуктов MODIS и VIIRS при изучении прибрежных вод Черного моря / Е. Ю. Скороход, Т. Я. Чурилова, Т. В. Ефимова и др. // *Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем – 2020*, 2020, с. 81-82.
10. Пушкин А. А., Сидельник Н. Я., Ковалевский С. В. Использование материалов космической съемки для оценки пожарной опасности в лесах // *Труды БГТУ*, 2015, № 1 (174), с. 36-40.
11. Родионова Н. В., Вахнина И. Л., Желибо Т. В. Оценка динамики послепожарного состояния растительности на территории Ивано-Арахлейского природного парка (Забайкальский край) по радарным и оптическим данным спутников Sentinel 1/2 // *Исследование Земли из космоса*, 2020, № 3, с. 14-25.
12. Сидельник Н. Я., Пушкин А. А., Ковалевский С. В. Картирование поврежденных лесных насаждений и объектов

лесохозяйственных мероприятий с использованием материалов космической съемки и ГИС-технологий // *Труды БГТУ. Серия 1*, 2018, № 1, с. 5-12.

13. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS / С.А. Барталев, В.А. Егоров, Д.В. Ершов и др. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2011, т. 8, № 4, с. 285-302.

14. Токарева О.С., Алшаиби А.Д.А., Пасько О.А. Оценка восстановительной динамики растительного покрова лесных гарей с использованием данных со спутников Landsat // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 2021, т. 332, № 7, с. 191-199.

15. Харук В.И., Пономарев Е.И. Пожары и гари сибирской тайги // *Наука из первых рук*, 2020, № 2 (87). – URL: <https://scfh.ru/papers/pozhary-i-gari-sibirskoy-taygi/> (дата обращения: 17.01.2023). – Текст: электронный:

16. Шевела С.Ю., Погорелов А.В. Вегетационный индекс NDVI как индикатор ландшафтов Краснодарского края // *Географические исследования Краснодарского края*, 2010, вып. 5, с. 262-268.

17. Application of MODIS/NDVI and MODIS EVI to extracting the information of cultivated land and comparison analysis / Z. Lijun, Z. Zengxiang, D. Tingting, W. Xiao // *Transactions from the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, vol. 24, pp. 167-172.

18. Evaluating impacts of snow, surface water, soil and vegetation on empirical vegetation and snow indices for the Utqiag-

vik tundra ecosystem in Alaska with the LVS3 model / Q. Zhang, T. Yao, K. Huemmmrich et. al. // *Remote Sensing of Environment*, 2020, vol. 240, p. 111677.

19. Forest restoration assessment based on NDVI from MODIS image under different burn intensity in the burned blank in discontinuous permafrost area of Northeast China / L. Zongmei, Z. Zengxiang, Z. Xiaoli et. al. // *Proceedings of the 2013 the International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE 2013)*, 2013, pp. 366-369.

20. Informational analysis of MODIS NDVI and EVI time series of sites affected and unaffected by wildfires / R. Ba, W. Song, M. Lovallo et. al. // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2022, vol. 604, p. 127911.

21. Kiselev M. V., Voropay N. N., Cherkashina A. A. Influence of anthropogenic activities on the temperature regime of soils of the South-Western Baikal region // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 381, p. 012043.

22. Lykhovyd P. Study of climate impact on vegetation cover in Kherson Oblast (Ukraine) using normalized difference and enhanced vegetation indices // *Journal of Ecological Engineering*, 2021, vol. 22(6), pp. 126-135.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 05.05.2023

Принята к публикации: 30.08.2024

PHYSICAL GEOGRAPHY AND BIOGEOGRAPHY, SOIL GEOGRAPHY AND LANDSCAPE GEOCHEMISTRY

UDC 911.52+574.474 (571.54)

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/4-13>

Experience with Using Geoinformation Data in the Evaluation of Post-Fire Vegetation Coverage Restoration

Zh. V. Atutova ✉

*V. B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation
(1, Ulan-Batorskaya Str., Irkutsk, 664033)*

Abstract. The purpose of the work was to consider the possibilities of using vegetation indices in assessing the prospects of reforestation in the burnt areas.

Materials and methods. The studies were based on the results of monitoring expeditionary observations in the pine forests of the Badary area of the Tunkinskii National Park after the fires that took place in 2010 and covered a third of the territory. For the period 2014-2020, the specificity of the species composition of the forest stand, shrub layer, and living ground cover was studied. The correlation of the formed geobotanical database with the NDVI and EVI vegetation indices obtained from processing medium spatial resolution geoinformation materials is considered. Vegetation index values were selected corresponding to the date of field research, as well as values for the control dates of the winter period and the periods of the beginning, middle, and end of the vegetation phases.

Results and discussion. The resulting array of data made it possible to identify the features of the dynamics of the NDVI and EVI indicators both in space and in time. In the burnt areas in the period 2010-2019, a fluctuation of the values

© Atutova Zh. V., 2024

✉ Zhanna V. Atutova, e-mail: atutova@mail.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

of vegetation indices was noted in almost every seasonal group, which correlates with geobotanical parameters that have upward data dynamics. In forests that were not affected by fires, and thus were in stable ecological conditions, the NDVI and EVI indices remained stable or had little fluctuation. It was noted that NDVI is characterised by overestimation of values, especially during the peak of vegetation; EVI values are more reliable.

Conclusion. Multi-temporal analysis showed that both field data and NDVI and EVI indicators indicate the success of reforestation processes. However, the study of the values of vegetation indices cannot be considered an independent source of information in the assessment of demutation processes.

Key words: vegetation index, NDVI, EVI, burnt area, monitoring, reforestation

Funding: The study was carried out at the expense of the state assignment (state registration number AAA-A-21-121012190017-5).

For citation: Atutova Zh. V. Experience with Using Geoinformation Data in the Evaluation of Post-Fire Vegetation Coverage Restoration. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografija. Geoekologiya*, 2024, no. 3, pp. 4-13 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/4-13>

REFERENCES

- Atutova Zh. V. Postpirogennoe vosstanovlenie podtaeznyh svetlohvojnyh geosistem Tunkinskoj kotloviny, Yugo-Zapadnoe Pribajkal'e (na primere sosnovykh lesov urochishcha Badary) [Post-pyrogenic reforestation of subtaiga light coniferous geosystems of the Tunkinskaya depression, South-Western Cisbaikalia (the study of pine forests of the Badary urochishche)]. *Geograficheskij vestnik*, 2022, no. 4 (63), pp. 6-18. (In Russ.).
- Bratkov V. V., Ataev Z. V. Vegetacionnye indeksy i ih ispol'zovanie dlya kartografirovaniya gornyh landshaftov Rossijskogo Kavkaza [Vegetation indexes and their use for mapping mountainous landscapes of the Russian Caucasus]. *APRIORI. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2017, no. 1, pp. 3-23. (In Russ.).
- Voropai N. N., Atutova Zh. V., Shuklina E. S. Mnogoletnyaya dinamika temperatury pochvy pirogenno transformirovannykh geosistem Tunkinskoj kotloviny (Yugo-Zapadnoe Pribajkal'e) [Long-term soil temperature dynamics in pyrogenically transformed geosystems of the Tunka depression (Southwestern Baikalia)]. *Geografija i prirodnye resursy*, 2022, vol. 43, no. 2, pp. 163-174. (In Russ.).
- Greben' A. S., Krasovskaya I. G. Analiz osnovnykh metodik prognozirovaniya urozhajnosti s pomoshch'yu dannykh kosmicheskogo monitoringa, primenitel'no k zernovym kul'turam stepnoj zony Ukrainy [Analysis of the main methods of forecasting yields using space monitoring data, in relation to grain crops of the steppe zone of Ukraine]. *Naukovo-tekhnichnij zhurnal*, 2013, no. 1 (7), pp. 105-119. (In Russ.).
- Ispol'zovanie dannykh distancionnogo zondirovaniya dlya rannej diagnostiki nastupleniya zasushlivykh uslovij [Use of remote sensing data for early diagnostics of the dry conditions action] / E. A. Dunaieva, D. E. Plotnikov, S. A. Khvostikov i dr. *Tavricheskiy vestnik agrarnoj nauki*, 2019, no. 4 (20), pp. 28-45. (In Russ.).
- Ispol'zovanie indeksnykh izobrazhenij pri deshifirovanii rastitel'nogo pokrova Vnutrigornogo Dagestana [The use of index images for decoding the vegetation cover of Inner mountainous Dagestan] / R. T. Radzhabova, N. A. Alekseenko, B. M. Kuramagomedov i dr. *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 4, pp. 126-136. (In Russ.).
- Kadetov N. G., Gnedenko A. E. Podhody k kartografirovaniyu proydennykh pozharom lesov v usloviyah zapovednogo rezhima [Approaches to the mapping of forests covered by fire in the conditions of the reserved regime]. *Geograficheskij vestnik*, 2019, no. 2 (49), pp. 148-157. (In Russ.).
- Landshaftnaya interpretaciya razlichij sezonnoj dinamiki vegetacionnogo indeksa EVI poverhnosti pahotnykh zemel' Bryanskoy oblasti [Landscape interpretation of the differences in the seasonal dynamics of the vegetation index EVI for the surface of arable land in Bryansk oblast] / G. V. Lobanov, A. Yu. Charochkina, M. V. Avramenko, N. N. Drozdov. *Vestnik SVFU. Seriya «Nauki o Zemle»*, 2020, no. 3 (19), pp. 25-35. (In Russ.).
- Primenimost' sputnikovykh produktov MODIS i VIIRS pri izuchenii pribrezhnykh vod Chernogo morya [Applicability of satellite products MODIS and VIIRS in the study of coastal waters of the Black Sea] / E. Yu. Skorokhod, T. Ya. Churilova, T. V. Efimova i dr. *Actual problems of studying the Black Sea ecosystems – 2020, 2020, Sevastopol, Russian Federation*. Sevastopol: FRC IBSS, 2020, pp. 81-82. (In Russ.).
- Pushkin A. A., Sidel'nik N. Ya., Kovalevskiy S. V. Ispol'zovanie materialov kosmicheskoy s'emki dlya ocenki pozharnej opasnosti v lesah [The using of the satellite imagery for the assessment of the forest fire danger]. *Trudy BGTU*, 2015, no. 1 (174), pp. 36-40. (In Russ.).
- Rodionova N. V., Vakhnina I. L., Zhelibo T. V. Ocenka dinamiki poslepozharного sostoyaniya rastitel'nosti na territorii Ivano-Arakhleyevskogo prirodnogo parka (Zabajkalskiy kraj) po radarnym i opticheskim dannym sputnikov Sentinel 1/2 [Assessment of the dynamics of postfire state of vegetation in territory Ivano-Arakhleyevskiy Natural Park (Zabajkalskiy Krai) using radar and optical Sentinel 1/2 data]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2020, no. 3, pp. 14-25. (In Russ.).
- Sidel'nik N. Ya., Pushkin A. A., Kovalevskiy S. V. Kartirovanie povrezhdennykh lesnykh nasazhdenij i ob'ektov lesohozyajstvennykh meropriyatij s ispol'zovaniem materialov kosmicheskoy s'emki i GIS-tekhnologij [Mapping of damaged forest stands and objects of forestry measures using satellite imagery and GIS technologies]. *Trudy BGTU. Seriya 1*, 2018, no. 1, pp. 5-12. (In Russ.).
- Sputnikovoe kartografirovanie rastitel'nogo pokrova Rossi po dannym spektrometrii MODIS [Mapping of Russia's vegetation cover using MODIS satellite spectroradiometer data] / S. A. Bartalev, V. A. Egorov, D. V. Ershov i dr. *Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, vol. 8, no. 4, pp. 285-302. (In Russ.).
- Tokareva O. S., Alshaibi A. D. A., Pas'ko O. A. Ocenka vosstanovitel'noy dinamiki rastitel'nogo pokrova lesnykh garej s ispol'zovaniem dannykh so sputnikov Landsat [Assessment of restoration dynamics of burnt forest area vegetation using Landsat satellite data]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2021, vol. 332, no. 7, pp. 191-199. (In Russ.).
- Haruk V. I., Ponomarev E. I. Pozhary i gari sibirskoy tajgi [Fires and burning of the Siberian taiga]. *Nauka iz pervykh ruk*, 2020, no 2 (87). – URL: <https://scfh.ru/papers/pozhary-i-gari-sibirskoy-tajgi/> (accessed 17.01.2023). – Text: electronic. (In Russ.).
- Shevela S. Yu., Pogorelov A. V. Vegetacionnyj indeks NDVI kak indikator landshaftov Krasnodarskogo kraja [Vegetation index NDVI as an indicator of landscapes of the Krasnodar Territory]. *Geograficheskie issledovaniya Krasnodarskogo kraja*, 2010, vol. 5, pp. 262-268. (In Russ.).
- Application of MODIS/NDVI and MODIS EVI to extracting the information of cultivated land and comparison analysis / Z. Lijun, Z. Zengxiang, D. Tingting, W. Xiao. *Transactions*

from the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, vol. 24, pp. 167-172.

18. Evaluating impacts of snow, surface water, soil and vegetation on empirical vegetation and snow indices for the Utqiagvik tundra ecosystem in Alaska with the LVS3 model / Q. Zhang, T. Yao, K. Huemmrich et. al. *Remote Sensing of Environment*, 2020, vol. 240, p. 111677.

19. Forest restoration assessment based on NDVI from MODIS image under different burn intensity in the burned blank in discontinuous permafrost area of Northeast China / L. Zongmei, Z. Zengxiang, Z. Xiaoli et. al. *Proceedings of the 2013 the International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE 2013)*, 2013, pp. 366-369.

20. Informational analysis of MODIS NDVI and EVI time series of sites affected and unaffected by wildfires / R. Ba, W. Song,

M. Lovallo et. al. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2022, vol. 604, p. 127911.

21. Kiselev M. V., Voropay N.N., Cherkashina A.A. Influence of anthropogenic activities on the temperature regime of soils of the South-Western Baikal region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 381, p. 012043.

22. Lykhovyd P. Study of climate impact on vegetation cover in Kherson Oblast (Ukraine) using normalized difference and enhanced vegetation indices. *Journal of Ecological Engineering*, 2021, vol. 22 (6), pp. 126-135.

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

Received: 05.05.2023

Accepted: 30.08.2024

Атутова Жанна Владимировна
кандидат географических наук, старший научный сотрудник
Института географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения
Российской академии наук, г. Иркутск, Российская Федерация,
ORCID: 0000-0003-4609-1123, e-mail: atutova@mail.ru

Zhanna V. Atutova
Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher in V.B. Sochava Institute
of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences, Irkutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-
4609-1123, e-mail: atutova@mail.ru