

УДК 504.064

Исследование взаимосвязи климатического состояния и пространственной структуры растительного покрова Западной Сибири

В.П. Днепровская, И.Г. Яценко*

*Институт химии нефти СО РАН
634055 г. Томск, пр. Академический, 4*

Поступила в редакцию 13.01.2017 г.

Проведен комплексный анализ климатического состояния и пространственной структуры растительного покрова территории Западной Сибири. Изучены изменения климатического состояния исследуемого региона за последние полвека на основе данных метеослужбы. Проанализированы климатические данные и геоботанические изменения с учетом ландшафтного зонирования. Показано, что с повышением среднегодовой температуры уменьшаются площади темнохвойных лесов и растут площади мелколиственных лесов и болот.

Ключевые слова: геоинформационные системы, геоботаническое зонирование, ландшафтное зонирование территории, типы растительного покрова, климатические изменения; *geoinformation systems, geobotanical zoning, landscape zoning, vegetation types, climate change.*

Важной задачей современных исследований Северной Евразии является выявление особенностей пространственной структуры растительного покрова в зависимости от климатических изменений. При ее решении необходимо учитывать пространственные свойства объектов исследований. Использование пространственных свойств хотя и усложняет процедуры анализа, но позволяет привлекать дополнительную информацию, которая может быть актуализирована в рамках геоинформационного подхода к обработке многомерных данных [1, 2]. Реализация этого подхода требует использования геоинформационных систем (ГИС), позволяющих манипулировать и управлять пространственными данными, хранящимися в виде тематических слоев, географически определенных относительно цифровой карты-основы.

Объектом исследования стала территория Западно-Сибирской равнины в границах шести административных образований — Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО), Томской, Омской, Новосибирской областей и юга Тюменской области. Исследуемая территория находится в умеренном поясе, где господствует западный перенос, т.е. подвержена сильному влиянию Атлантического океана, которое сказывается в наибольшей степени в зимний период на севере территории. В пределах Западно-Сибирской равнины ярко прослеживается зональное распределение ландшафтов в виде широтных географических зон: субарктическая тундра,

редколесье, тайга и лесостепь. Однако переходы между зонами недостаточно четкие вследствие равнинности и сильной заболоченности территории. Зональность проявляется во всем комплексе природных условий: в изменении характера климата, растительного и почвенного покровов, состава животного мира и др. [3–6].

Наблюдаемое в настоящее время изменение климата характеризуется как «продолжающееся глобальное потепление». Это подтверждается многими фактами. Так, обнаруженный по данным наблюдений рост глобальной температуры у поверхности Земли сопровождается ростом среднего уровня океана и уменьшением площади снежного покрова на суше Северного полушария. Глобальная приповерхностная температура вычисляется как средняя из температур приземного воздуха над континентами (на высоте 2 м над поверхностью) и температур воды поверхности морей и океанов. Для пространственного осреднения используются не сами температуры, а их аномалии, т.е. отклонения от средних величин за выбранный базовый период. Такие ряды — результат 11-летнего скользящего сглаживания для приповерхностной температуры территории России и в целом земного шара — показаны на рис. 1 полужирными кривыми [7].

Известно, что глобальное потепление в XX и начале XXI вв. было не вполне однородным. Выделяются три интервала: потепление 1910–1945 гг., слабое похолодание 1946–1975 гг. и наиболее интенсивное потепление после 1976 г. Эти же тенденции прослеживаются в России (рис. 1) [7]. Для исследования климатических изменений территории Западной

* Виктория Петровна Днепровская (vpi@ipc.tsc.ru); Ирина Германовна Яценко (sric@ipc.tsc.ru).

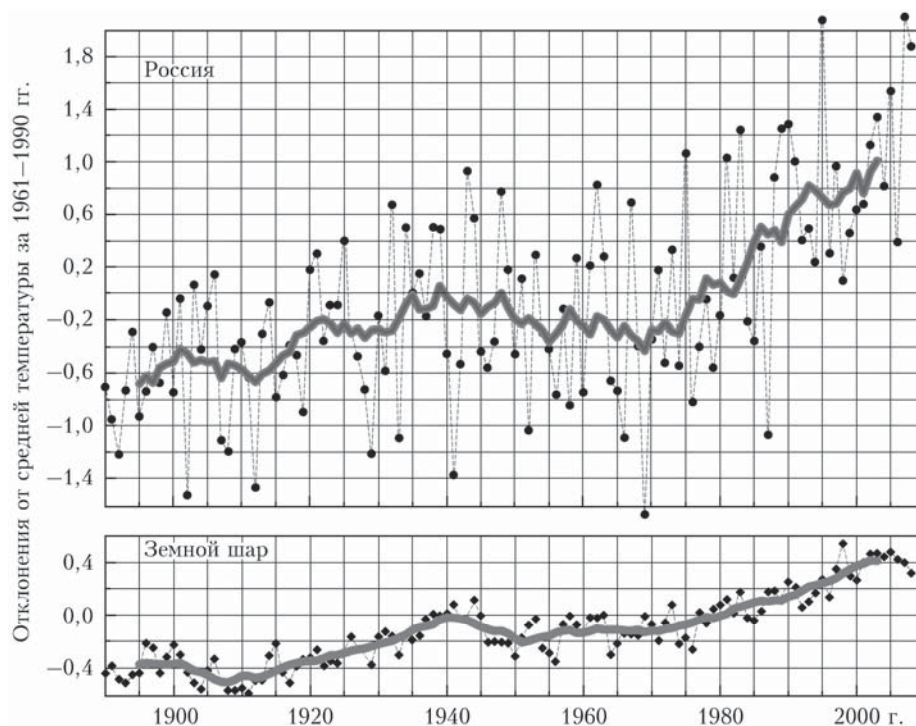


Рис. 1. Временные ряды пространственно осредненных значений среднегодовой приповерхностной температуры России и земного шара [7]

Сибири были использованы метеорологические данные за период 1955–1992 гг., полученные на 99 метеостанциях, расположенных на исследуемой территории: временные ряды среднегодовых значений температуры воздуха (T , °C), количество атмосферных осадков (Q , мм) и максимальные годовые величины запаса воды в снежном покрове (ЗВСП, мм) [3–6].

Анализ климатических изменений проводился для двух временных интервалов: 1955–1970 гг. и 1975–1992 гг. Установлено, что среднегодовая температура воздуха во втором периоде по сравнению с первым увеличилась на 0,9 °C, среднегодовое количество атмосферных осадков в среднем увеличилось на 0,7 мм, т.е. приблизительно на 2%, что можно считать несущественным. Изменение величины запаса воды в снежном покрове для территории юга Западной Сибири во втором периоде составляет 12,8 мм, т.е. увеличение по сравнению с первым периодом – ~12,4%. Следовательно, с повышением температуры существенно возрастает ЗВСП, хотя уровень атмосферных осадков увеличивается незначительно [3–6].

В настоящей работе для определения характеристик пространственной структуры растительного покрова территории использовалась карта наземных экосистем России (по материалам сайта http://smiswww.iki.rssi.ru/files/maps/northern_eurasia.jpg), созданная по данным спутникового прибора SPOT 4-VEGETATION. Пространственное разрешение карты ~1 км; она отражает пространственное распределение основных типов растительности и не покрытых растительностью земель по состоянию на 2000 г. Метод создания карты включал классификацию основных типов земного покрова с использованием на-

бора улучшенных продуктов спутниковых данных, характеризующих фенологическую динамику растительности, уровень влагосодержания и анизотропные свойства отражения земной поверхности, а также длительность залегания снежного покрова. Полученная в результате цифровая карта наземных экосистем России успешно прошла качественную и количественную проверку, что позволило включить ее в соответствующую глобальную базу данных [8, 9].

Легенда карты включает 25 классов. Классы образуют семь различных групп типов земного покрова и выбраны как исходя из возможностей спутниковых данных и имеющихся методов их анализа, так и с учетом требований экосистемной оценки лесов, тундры, кустарниковых и травяных типов растительного покрова, водно-болотных комплексов и не покрытых растительностью земель [8].

Обработка карты наземных экосистем России проводилась средствами программного обеспечения геоинформационной системы ArcGis 10.2.2, с помощью которой определялись относительные площади каждого из ландшафтных выделов. Исследована структура лесорастительного покрова для юго-восточной (Томская область) и центральной (ХМАО) частей Западной Сибири. На рис. 2 представлена карта-схема ландшафтного районирования исследуемой территории.

Для получения наиболее точных и достоверных зависимостей исследуемой равнинной территории из процесса обработки исключили горные и пойменные ландшафтные провинции. В процессе анализа карты наземных экосистем России из 25 классов были взяты для дальнейшей обработки четыре основных типа растительного покрова, которые характерны

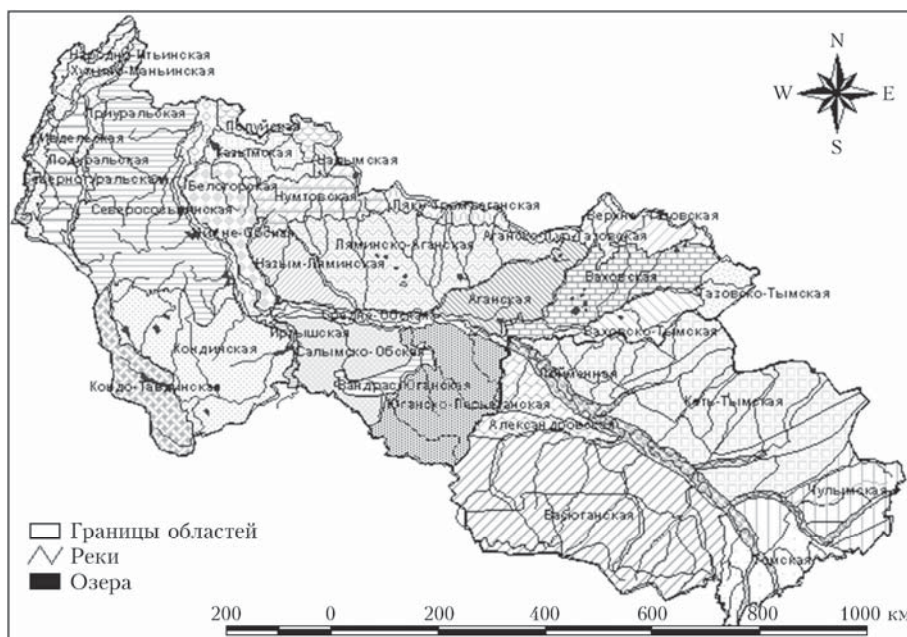


Рис. 2. Ландшафтное районирование центральной и юго-восточной частей Западной Сибири

для таежной зоны Западной Сибири: темнохвойные, светлохвойные, мелколиственные леса и водно-болотные комплексы. Для каждой ландшафтной провинции в отдельности были получены данные о пространственной структуре в виде относительных площадей типов растительного покрова и среднегодовые климатические показатели. На рис. 3 представлена диаграмма, отображающая структуру растительного покрова на территории ХМАО и Томской области, в виде соотношения относительных площадей выбранных типов. Видно преобладание водно-болотных комплексов. Они занимают 30,70% площади исследуемой территории.



Рис. 3. Структура растительного покрова на территории ХМАО и Томской области

Данные о пространственной структуре различных ландшафтных провинций центральной и юго-восточной частей Западной Сибири (относительные площади растительного покрова разного типа) приведены в табл. 1.

Для изучения взаимосвязи климатических характеристик и структуры лесорастительного покрова на основе полученных данных (табл. 1) были построены графики зависимости относительных площадей (S) типов растительного покрова от климатических показателей. Они выявили прямую пропорциональную зависимость, описываемую уравнением

$y = ax + b$, где a и b – коэффициенты линейного уравнения. В табл. 2 приведены коэффициенты и величина достоверности аппроксимации (R^2) для четырех типов растительного покрова.

На рис. 4 представлена зависимость относительной площади темнохвойных лесов от температуры воздуха. Видно, что повышение среднегодовой температуры на территории Западной Сибири сопровождается снижением доли темнохвойных лесов в структуре растительного покрова.

На рис. 5 приведены линии трендов, отображающие зависимости относительных площадей анализируемых типов растительного покрова от рассматриваемых климатических показателей. По мере повышения среднегодовой температуры воздуха, т.е. по мере смены ландшафтных зон от севера к югу (рис. 5, а), структура лесоболотных территорий существенно изменяется: площади темнохвойных и светлохвойных лесов сокращаются (от ~25–30% на севере до ~20–15% на юге территории), преобладающими становятся автоморфные мелколиственные леса, которые занимают ~30% всей территории. Площадь водно-болотных комплексов уменьшается более резко по сравнению с темнохвойными и светлохвойными лесами, что отражает общую тенденцию увеличения заболачивания территорий к северу Западной Сибири. Рис. 5, б показывает, что с ростом ЗВСП (т.е. в направлении с юга на север) площади темнохвойных и светлохвойных лесов увеличиваются (от ~15–20% на юге до ~25–30% на севере территории), так же как и водно-болотных комплексов (от ~12% до ~45%), а площадь мелколиственных лесов уменьшается. С повышением среднегодовой суммы атмосферных осадков отмечаются расширение площадей светлохвойных и темнохвойных лесов и сокращение площадей мелколиственных лесов и заболоченных территорий (рис. 5, в).

Таблица 1

Относительные площади типов растительного покрова и основные климатические показатели ландшафтных провинций исследуемой территории

Номер провинции	Название	Тип ландшафтного выдела				Климатические показатели		
		ТХЛ	СХЛ	МЛЛ	ВБК	T, °C	Q, мм	ЗВСП, мм
3	Северо-сосвинская	25,28	39,97	1,53	20,85	-2,0	46,5	197,3
4	Надымская	24,21	31,80	0,00	31,75	-3,7	41,0	180,9
5	Полуйская	34,18	14,21	0,00	31,30	-3,9	41,1	174,4
6	Аганско-Пур-Тазовская	35,59	20,30	0,39	31,89	-3,7	43,3	126,9
7	Аганская	18,09	32,57	0,76	40,35	-2,6	47,8	181,7
8	Верхне-Тазовская	23,39	39,22	0,55	25,93	-4,0	45,9	145,7
9	Пяку-Тромьеганская	9,46	10,27	0,00	64,74	-3,5	42,7	206,1
10	Белогорская	52,88	29,47	0,67	3,76	-2,5	46,3	212,4
11	Нумтовская	18,46	34,66	0,00	36,87	-3,1	39,7	192,5
12	Тазовско-Тымская	17,68	48,81	0,59	22,02	-3,2	46,6	170,0
13	Кондо-Тавдинская	10,43	23,14	26,95	21,28	0,4	43,1	135,8
14	Кондинская	11,46	23,26	3,45	47,41	0,0	39,4	156,8
15	Назым-Ляминская	9,90	26,58	0,11	56,16	-2,3	41,7	196,5
16	Ваховская	14,49	20,54	0,29	55,26	-2,9	46,4	145,9
17	Ляминско-Аганская	6,52	16,89	0,00	56,59	-2,7	41,6	207,1
18	Ваховско-Тымская	19,39	32,13	3,54	27,71	-2,4	47,5	156,3
19	Сальмско-Обская	19,14	16,17	9,70	34,28	-1,2	41,7	161,6
20	Вандрас-Юганская	22,09	29,03	1,18	38,93	-1,0	44,5	175,5
21	Юганско-Ларьеганская	29,22	24,39	3,37	29,29	-0,9	47,5	175,2
22	Казымская	27,92	18,42	0,00	45,31	-3,5	41,3	184,2
30	Александровская	30,01	32,54	3,83	21,77	-0,7	44,8	144,3
31	Васюганская	19,78	32,04	19,98	10,82	0,1	41,3	112,7
32	Кеть-Тымская	17,68	26,09	4,82	36,43	-1,1	45,5	162,4
34	Томская	5,44	3,29	55,30	0,13	1,1	40,5	99,9
35	Чулымская	15,52	14,30	49,52	1,34	0,6	39,6	122,5

Примечание. ТХЛ — темнохвойные леса; СХЛ — светлохвойные леса; МЛЛ — мелколиственные леса; ВБК — водно-болотные комплексы.

Таблица 2

Значения коэффициентов линейного уравнения и достоверности аппроксимации в зависимости от климатических показателей

Тип растительного покрова	T, °C			Q, мм			ЗВСП, мм		
	a	b	R ²	a	b	R ²	a	b	R ²
Темнохвойные леса	-2,27	16,31	0,11	1,20	-31,65	0,10	0,07	9,21	0,04
Светлохвойные леса	-1,69	22,31	0,07	1,91	-57,37	0,27	0,07	13,74	0,05
Мелколиственные леса	7,15	21,39	0,55	-2,07	97,41	0,15	-0,34	64,09	0,48
Водно-болотные комплексы	-5,16	21,64	0,22	-0,24	42,31	0,00	0,30	-17,02	0,27

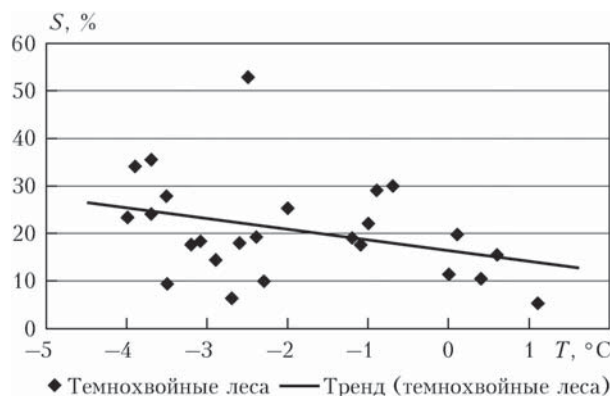


Рис. 4. Зависимость относительной площади темнохвойных лесов от среднегодовой температуры воздуха

Было исследовано распределение типов растительного покрова с учетом ранжирования ландшафт-

ных провинции по температурным поясам с шириной 1° (рис. 6). Выделили пять зон с одинаковой среднегодовой температурой воздуха, и для этих зон построили гистограмму зависимости площади типов растительного покрова от температуры воздуха. Построенная гистограмма (рис. 7) показывает, что структура лесоболотных территорий существенно изменяется по мере смены ландшафтных зон, особенно это заметно при переходе через 0 °C. Площади хвойных лесов сокращаются (от ~25% на севере территории до ~15% на юге), преобладающими становятся автоморфные березовые леса (~40%). Площадь водно-болотных комплексов резко увеличивается при переходе от южной к средней тайге (за счет обширной территории Обь-Иртышского междуречья), и далее наблюдается менее выраженная тенденция к увеличению заболачивания территории к северу Западной Сибири.

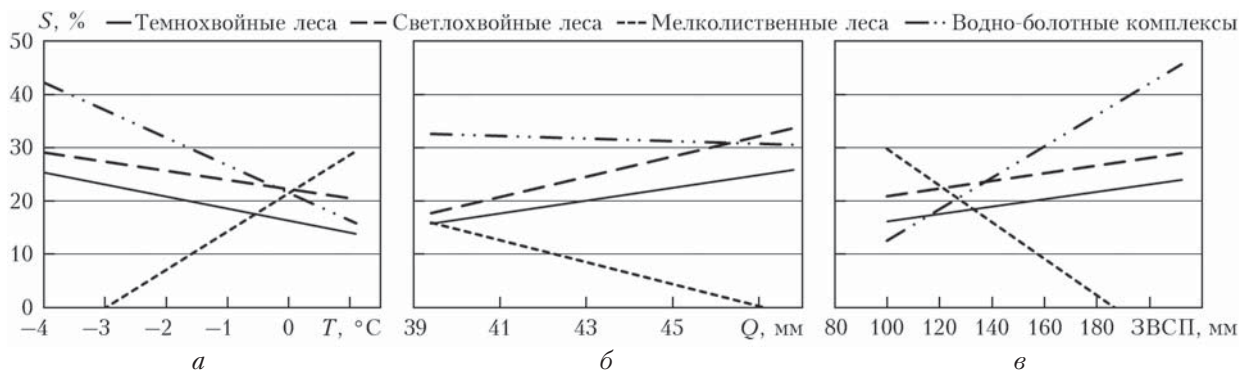


Рис. 5. Зависимости относительных площадей типов растительного покрова от климатических показателей

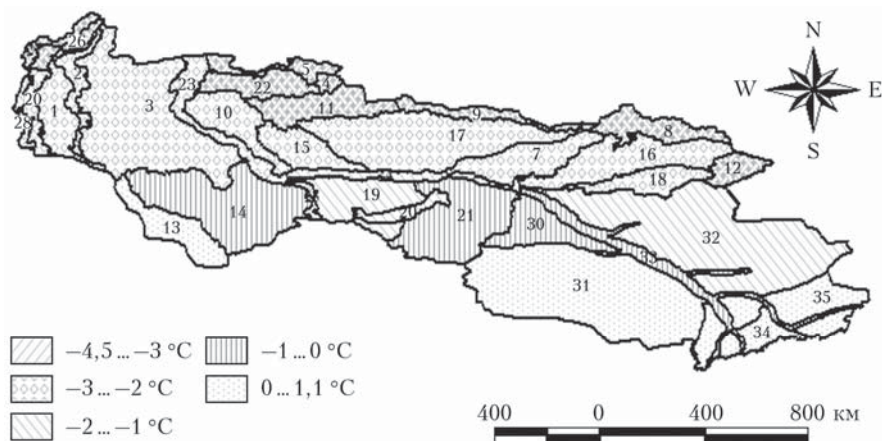


Рис. 6. Зонирование ландшафтных провинций по среднегодовой температуре воздуха

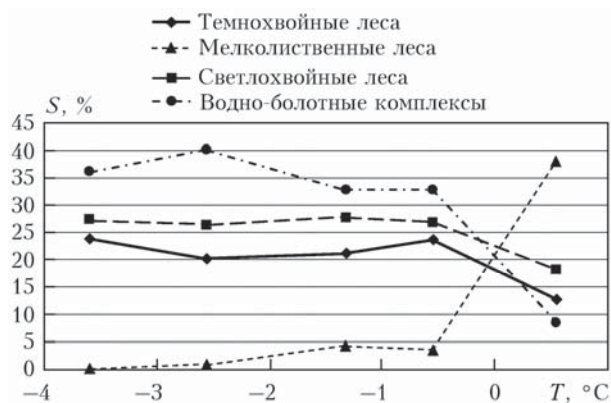


Рис. 7. Зависимость относительных площадей типов растительного покрова от температурных зон в соответствии с рис. 6

Таким образом, в результате комплексного анализа изменений показателей климатического состояния и пространственной структуры растительного покрова на территории Западной Сибири установлена взаимосвязь этих показателей. В частности, показано, что повышение среднегодовой температуры воздуха сопровождается ростом относительной площади мелколиственных лесов, сокращением относительных площадей темнохвойных и светлохвойных лесов и водно-болотных комплексов. С ростом сред-

него значения водозапаса в снежном покрове увеличивается относительная площадь хвойных лесов и водно-болотных комплексов, а площади мелколиственных лесов сокращаются. Полученные результаты могут быть использованы при прогнозе изменений геоботанической структуры растительности Западной Сибири в условиях ожидаемого глобального потепления.

1. Полищук Ю.М., Перемитина Т.О. Геоинформационный подход к анализу многомерных данных о пространственно-распределенных объектах // Геоинформатика. 2003. № 1. С. 18–21.
2. Полищук Ю.М., Иродова В.П., Перемитина Т.О. Геоинформационный анализ климатических особенностей юго-востока Западной Сибири на основе метода главных компонент // География и природные ресурсы. 2003. № 4. С. 139–143.
3. Днепровская В.П., Полищук Ю.М. Исследование взаимосвязи климатического состояния и пространственной структуры растительного покрова в Западной Сибири // Вестн. ЮГУ. 2007. № 6. С. 31–38.
4. Dneprovskaya V.P., Polishchuk Y.M. Interrelation of spatial changes of climatic characteristics and vegetative cover structure in Western Siberia based on space images // BioClimLand. 2013. N 2. P. 35–41.
5. Днепровская В.П., Брыксина Н.А., Полищук Ю.М. Изучение изменений термокарста в зоне прерывистого распространения вечной мерзлоты Западной Сибири на основе космических снимков // Исслед. Земли из космоса. 2009. № 4. С. 88–96.

6. Днепроvская В.П., Полищук Ю.М. Геоинформационный анализ геокриологических изменений в зоне многолетней мерзлоты Западной Сибири с использованием космических снимков // Геоинформатика. 2008. № 2. С. 9–14.
7. Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный докл. / под ред. А.О. Кокорина. М.: Всемирный фонд дикой природы России, 2011. 168 с.
8. Барталев С.А., Белвард А.С., Ершов Д.В. Новая карта типов земного покрова бореальных экосистем Евразии по данным SPOT4-VEGETATION // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: докл. 3-й Всерос. конф., посвященной памяти Г.Г. Самойловича. Москва, 18–19 апреля 2002. М.: Изд-во ИКИ РАН, 2002. С. 30–34.
9. Барталев С.А., Белвард А.С., Ершов Д.В., Исаев А.С. Карта наземных экосистем Северной Евразии по данным SPOT4-VEGETATION. Проект Global Land Cover 2000. Информационная система TerraNorte. Институт космических исследований РАН [Электронный ресурс]. URL: http://smiswww.iki.rssi.ru/files/maps/northern_eurasia.jpg, <http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=317> (дата обращения: 26.12.2016).

V.P. Dneprovskaya, I.G. Yashchenko. Relationships between climate conditions and spatial structure of vegetation in Western Siberia.

The climate conditions and the spatial structure of vegetation in Western Siberia have been comprehensive analyzed. The changes in the climate in this region and in the geobotanical landscape during the past half century have been studied based on meteorological data taking into account the landscape zoning. It is shown that an increase in the annual average temperature results in the reduction of dark coniferous forest and expansion of small-leaved forests and swamps.