

С.А. Тобратов, О.С. Железнова

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ
ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ РЯЗАНСКОЙ МЕЩЕРЫ
В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ:
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АСПЕКТ**

Обобщены результаты исследований пространственно-временных закономерностей биологической продуктивности лесных сообществ рязанской Мещеры. На основе материалов лесоустройства создана база данных, содержащая сведения о динамике лесного фонда в 1980-е – начале 2000-х годов и его характеристиках. Установлено, что изменения продуктивности фитоценозов определяются динамикой режимов увлажнения в центре Русской рав-

нины. Их анализ позволил выявить принципиальные различия в © Тобратов С.А., Железнова О.С., 2014 увлажненности мещерских геосистем в 1980-е и 1990-е годы. Показана возможность использования полученных результа-

тов для оценки устойчивости лесных сообществ к антропогенному химическому загрязнению.

биологическая продуктивность, индикаторы ландшафтного увлажнения, климат, ландшафт, лесные сообщества.

В научной литературе широко обсуждается круг проблем, связанных с характером отклика растительных сообществ на современные климатические изменения. При этом признается, что функциональные параметры фитоценозов обладают гораздо меньшими характерными временами по сравнению со структурными и поэтому реагируют на возникающие изменения значительно раньше вторых. Интегральным выражением функционирования геосистем и важнейшим показателем их устойчивости является ведущее звено малого биологического круговорота – первичная биопродуктивность¹.

Многочисленные работы последних лет направлены на изучение динамики биопродуктивности лесных сообществ в зависимости от климатических изменений на уровне крупных регионов и страны в целом. Получаемые

¹ Коломыц Э.Г. Региональная модель глобальных изменений природной среды : моногр. М. : Наука, 2003. 371 с.

результаты имеют смысл для обоснования стратегических управленческих решений на федеральном уровне и, главным образом, для познания биосферных функций лесов страны, в частности, в связи с обязательствами России по ряду международных конвенций и соглашений ².

В исследованиях подобного рода используются расчеты по глобальным климатическим моделям, метод палеоаналогов, биоклиматические модели, связывающие структурные параметры растительности с климатическими факторами ³. Однако мелкомасштабный характер большинства прогнозных разработок не позволяет вскрыть причинные механизмы пространственного разнообразия реакций лесных сообществ на одни и те же фоновые климатические воздействия, а также их обратного влияния на климат. Очевидно, что подобного рода задачи решаются при переходе к региональным и локальным исследованиям.

В настоящей работе представлены основные результаты оценки закономерностей пространственно-временной организации функционирования лесных сообществ на примере Рязанской Мещеры. При этом основная цель исследования заключалась в изучении особенностей и масштабов динамики продуктивности подтаежных лесных фитоценозов под влиянием климатических изменений и установлении пространственных закономерностей отклика ландшафтной структуры на вариации климатических параметров.

В качестве модельного объекта изучения продуктивности лесных сообществ выбраны природные комплексы Солотчинско-Деулинского ландшафта Мещерской ландшафтной провинции Рязанской области.

Территория Мещеры относится к зоне хвойно-широколиственных лесов и представляет собой обширную плоскую равнину с верейно-котловинным рельефом. Наиболее крупной гипсометрической неоднородностью является Солотчинская останцовая местность, соответствующая среднечетвертичной (московской) аккумулятивной поверхности с бугристо-западинным микрорельефом. Здесь на сухих песках произрастают монодоминантные сосновые сообщества: свежие боры-брусничники и зеленомошники. В условиях некоторого повышения трофности субстрата наблюдается усложнение структуры сообществ, индицируемое сменой боров субориями с хорошо развитым подлеском и более высоким общим запасом фитомассы. От Солотчинской останцовой местности территория постепенно понижается к обширной депрессии, соответствующей Центральной ложбине стока Мещеры. Постепенное снижение поверхности озерно-аллювиальной равнины осложняется древними эрозионными

² Швиденко А.З. Материалы к познанию современной продуктивности лесных экосистем России // Базовые проблемы перехода к устойчивому управлению лесами России – учет лесов и организация лесного хозяйства : материалы Междунар. семинара / Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Красноярск, 2007. С. 7–37.

³ Величко А.А. Влагозапасы в почвах при глобальном потеплении климата, опыт прогнозирования на примере Восточной Европы // Почвоведение. 1995. № 8. С. 933–942 ; Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации : в 2 т. / Росгидромет. Т. 2 : Последствия изменений климата. М., 2008. 288 с. ; Парфенова Е.И. Биоклиматические модели коренных лесов гор Южной Сибири // Лесоведение. 2009. № 5. С. 34–42 ; Плешиков Ф.И. Лесные экосистемы Енисейского меридиана : моногр. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. 356 с.

врезами, верями и узлами верей, создающими локальные неоднородности гидрологического режима, сказывающиеся на характере произрастающих здесь сообществ. Сосняки-брусничники песчаных бугров и верей в трансэлювиальных позициях с достаточно хорошей гидродинамикой сменяются сосняками-черничниками. В заболоченных депрессиях в олиготрофных условиях произрастают соснякидолгомошники и сфагновые, а в условиях повышенной трофности увеличивается доля ольхи и березы. В пойменных сообществах сосна часто занимает подчиненное положение, а в качестве содоминантов выступают береза и ольха.

Положение Мещеры в центре староосвоенной территории России определяет заметную долю лесных культур и вторичных сообществ в растительном покрове района исследований.

Характерные для мещерских геосистем уровни грунтовых вод и степень динамики влаги в 1960-е годы испытали воздействие осушительной мелиорации, в результате чего гидрологический режим территории изменился. В настоящее время состояние мелиоративных канав неудовлетворительное; функционирование осушенных в прошлом территорий, как и сохранивших естественный водный режим, управляется климатической динамикой.

Оценка закономерностей функционирования естественных сообществ проводилась на основе обработки данных государственного учета лесного фонда (ГУЛФ) Солотчинского лесхоза в 1982, 1991 и 2002 годах. Таксационные описания этих лет отражают биологические последствия климатической динамики 1970-х – начала 2000-х годов, с которыми ассоциируют фазу потепления климата по М.И. Будыко⁴ и восточную (Е) эпоху циркуляции атмосферы по Г.Я. Вангенгейму – А.А. Гирсу⁵.

При использовании данных лесоустройств в экологических и географических исследованиях необходимо учитывать, что состояние и функционирование лесов оцениваются в материалах ГУЛФ с ресурсной точки зрения. Под продуктивностью лесов понимается запас древостоя или некоторых его частей (например, запас деловой древесины), а также показатели изменения запаса – текущие и средние приросты. Ресурсный подход, интересующий в первую очередь лесное хозяйство, отличается от принятых в экологии трактовки биологической продуктивности⁶. В то же время данные учета лесного фонда, проводимого с периодичностью в десять лет, представляют собой ценный материал для изучения многолетней динамики функционирования сообществ на уровне отдельных геосистем.

Таксационные описания ГУЛФ были преобразованы в базу данных, включающую характеристики древостоев (возраст, породный состав, высоты, диаметры, бонитеты, полнота древостоя, типы лесорастительных условий для насаждений каждого лесотаксационного выдела), а также сведения о динамике

⁴ Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем : моногр. Л. : Гидрометеиздат, 1980. 352 с.

⁵ Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы : моногр. Л. : Гидрометеиздат, 1971. 280 с.

⁶ Швиденко А.З. Материалы к познанию современной продуктивности лесных экосистем России.

лесопокрытых площадей Солотчинского лесхоза в 1980–2000-е годы. Созданная база данных была дополнена комплексом метеорологических и гидрологических характеристик по местным метеостанциям и гидропостам. Для обработки данных применялись методы математической статистики, а также осуществлялось картографирование в среде географических информационных систем.

Для оценки динамики функционирования сообществ на основе средних диаметров насаждений рассчитывались приросты стволовой древесины. Согласно исследованию А.И. Белякова⁷, прирост диаметра ствола является прямым показателем продуктивности древесного яруса, коррелирующим с биомассой и с приростами других ярусов фитоценоза, например кустарниковым, и, следовательно, служит хорошей оценкой состояния экосистемы в целом. В то же время ростовая активность клеток камбия является функцией от возраста. Для исключения влияния фактора возраста фактические диаметры и рассчитанные на их основе приросты древостоев были сопоставлены с зональными возрастными нормативами приростов, определенными по базе данных В.А. Усольцева⁸.

Отметим, что для оценки продуктивности фитоценозов из анализа были исключены относительно молодые древостои, возраст которых на момент таксации 1982 года составлял менее 20 лет. На их прирост часто приоритетное влияние оказывают лесохозяйственные мероприятия (осветление, прореживание), фактор конкуренции, заболевания и повреждения дикими животными. Кроме того, из анализа исключались также древостои, которые при лесоустройствах 1982, 1991 и 2002 годов учитывались таксаторами нерегулярно. Таким образом, оценке подлежала наиболее стабильная часть сообществ с исключением влияния на значение приростов рубок леса.

Анализ биологической продуктивности сообществ Мещеры необходимо предварить оценкой ландшафтного увлажнения и его динамики. Известно, что влага, являясь «критическим» компонентом ландшафта⁹, в значительной мере определяет биологические процессы в геосистемах. Согласно ландшафтно-экологическим исследованиям Э.Г. Коломыца¹⁰, влияние летних запасов продуктивной влаги в почве на растительность в 1,5 – 2 раза выше, чем температуры июля и физического испарения. По мнению большинства лесоводов, влажность почв также является одним из основных факторов, определяющих рост насаждений¹¹. В этой связи встает вопрос о наиболее надежных индикаторах ландшафтного увлажнения, при этом следует учитывать, что показатели увлажнения в виде соотношений тепла и влаги информативны для зонально-

⁷ Беляков А.И. Пространственно-временные ритмы функционирования внутриландшафтных геосистем (на примере среднетаежных ландшафтов юга Архангельской области) : дис. ... канд. геогр. наук. М., 2003. 260 с.

⁸ Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии : моногр. / УрО РАН. Екатеринбург, 2002. 762 с.

⁹ Беляков А.И. Пространственно-временные ритмы функционирования внутриландшафтных геосистем (на примере среднетаежных ландшафтов юга Архангельской области).

¹⁰ Коломыц Э.Г. Региональная модель глобальных изменений природной среды.

¹¹ Корепанов Д.А. Лесоводственная эффективность осушения избыточно увлажненных земель Волжско-Камского междуречья : дис. ... д-ра с.-х. наук. Екатеринбург, 2006. 496 с.

регионального физико-географического фона, характеризуя, главным образом, гидротермические условия формирования плакорных природно-территориальных комплексов¹². Однако подобные соотношения непродуктивны на локальном уровне, где поведение влаги в геосистеме нередко определяют факторы литогенной основы и рельефа. Эти факторы способствуют локальным изменениям в расходных статьях водного баланса – суммарном испарении и стоке, что в конечном счете и определяет увлажненность конкретной геосистемы. Поэтому, наряду с сезонными осадками и температурой, не требующими пояснений индикаторами ландшафтного увлажнения, целесообразно использовать характеристики стока местных рек, в качестве которых нами выбраны слой стока и коэффициенты стока дренирующей Мещеру реки Гусь. При этом параметры речного стока особенно информативны при их совместном рассмотрении с другими индикаторами ландшафтного увлажнения. Так, величина разности между осадками холодного периода и стоком позволяет судить о характере расходования влаги зимних и весенних осадков в геосистеме. В случае положительной аномалии разности осадки холодного периода остаются в ландшафте и расходуются на местные биологические процессы, в противном случае – при отрицательной аномалии – наблюдается непродуктивное расходование влаги преимущественно на сток.

На характер расходования влаги в геосистеме влияет также уровень увлажнения предыдущих лет, определяющий запасы грунтовых вод. Данный параметр, отражающий «предысторию» года, может быть формализован через накопленные трехлетние суммы осадков.

Кроме того, интегрально условия увлажнения центра Русской равнины характеризует кривая уровня Каспийского моря, информативная для оценки наиболее устойчивых и долговременных тенденций климатической динамики.

Очевидно, что выводы о характере протекающих в ландшафте процессов, детерминирующих динамику функционирования сообществ, могут быть сделаны только на основе комплексного анализа всех индикаторов ландшафтного увлажнения. Для этого целесообразно использовать такой метод количественной классификации, как кластерный анализ. Данному анализу, выполненному в программе «STATISTICA» с использованием метода Варда, были подвергнуты выраженные в аномалиях ряды параметров ландшафтного увлажнения за 1970–2002 годы. Преимущество кластерного метода заключается в том, что в отличие от других средств кластеризации он включает в себя элементы дисперсионного анализа для оценки расстояний между кластерами¹³.

Монотонность функции, резко нарушающаяся на уровне дистанции сцепления 4 единицы, индицирует объективное выделение восьми кластеров, отражающих существование восьми различных режимов увлажнения ландшафтов Мещеры в 1970–2002 годах (табл. 1 и 2).

¹² Коломыц Э.Г. Локальные коэффициенты увлажнения и их значение для экологических прогнозов // Известия РАН. Сер. Географическая. 2010. № 5. С. 61–72.

¹³ Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях : учеб. пособие для студ. вузов. М. : Академия, 2004. 416 с.

Как следует из таблицы 1, индикаторами аридных обстановок могут быть признаны кластеры 2, в меньшей степени – 1, в еще меньшей степени – 8.

Таблица 1

Средние характеристики кластеров временного ряда 1970–2002 годов по характеру увлажнения ландшафтов Мещеры

Номера кластеров	$r_{тп}$	$r_{хп}$	$r_{окт}$	$r_{апр}$	$\sum r_3$	$t_{тп}$	$t_{хп}$	h	k	$r_{хп} - h$	Δx
1	0,78	1,13	1,21	1,21	1,04	1,02	0,97	1,19	1,25	-0,05	2,91
2	0,93	1,07	0,81	1,03	0,96	1,01	0,80	0,80	0,84	0,96	0,09
3	1,28	0,83	0,56	0,67	0,99	0,96	1,21	1,09	1,04	-1,00	1,08
4	1,24	1,00	0,71	0,71	1,12	0,96	1,31	1,32	1,20	-1,05	6,62
5	0,80	0,79	1,16	0,20	1,12	1,05	0,85	0,96	1,22	-0,76	10,87
6	1,02	0,95	1,28	1,24	0,96	1,03	0,96	1,00	0,97	-0,25	-2,65
7	0,83	1,18	1,07	1,13	0,99	1,01	0,71	0,84	0,82	1,29	-3,75
8	1,07	0,88	1,05	0,90	0,93	0,96	1,19	0,64	0,69	0,65	-6,79

$r_{тп}$ – осадки теплого периода: май – сентябрь (среднее значение – 308,62 мм); $r_{хп}$ – осадки холодного периода: ноябрь – март (среднее значение – 224,21 мм); $r_{окт}$ – осадки октября (среднее значение – 61,41 мм); $r_{апр}$ – осадки апреля (среднее значение – 37,05 мм); $\sum r_3$ – накопленные трехлетние суммы осадков (среднее значение – 1887,39 мм); $t_{тп}$ – температура теплого периода: май – сентябрь (среднее значение – +15,29 °С); $t_{хп}$ – температура холодного периода: ноябрь – март (среднее значение – -6,12 °С); h – слой стока реки Гусь (среднее значение – 171,68 мм); k – коэффициент стока (среднее значение – 0,27); $r_{хп} - h$ – разность между осадками холодного периода и слоем стока (среднее значение – 52,53 мм); Δx – приращение уровня Каспийского моря (среднее значение – 3,45 см/год).

Примечание. Параметры увлажнения выражены в аномалиях, представляющих собой отношение среднего значения какого-либо параметра для группы лет, формирующих кластер, к среднему значению данного параметра за 1970–2002 годы. Таким образом, аномалии больше единицы свидетельствуют о превышении за эти годы среднего значения, аномалии меньше единицы, наоборот, – о пониженном значении какого-либо параметра по отношению к средним его величинам за рассматриваемый период.

Таблица 2

Типизация временного ряда 1970–2002 годов по характеру увлажнения ландшафтов Мещеры, полученная по результатам кластерного анализа

<i>Кластер</i>	<i>Годы, формирующие кластер</i>	<i>Краткая характеристика кластера</i>
1	1970, 1981, 1982, 1986, 1992, 1995	условно аридный
2	1974, 1983, 1984, 2002	типично аридный
3	1978, 1985, 1987, 1988, 1993	гумидный (начало влажной серии)
4	1979, 1980, 1994	гумидный (финал влажной серии)
5	1991	гумидный
6	1971, 1972, 1977, 1989, 1990, 1998, 1999	переходный между аридными и гумидными кластерами
7	1973, 1975, 2000, 2001	гумидный
8	1976, 1996, 1997	условно аридный, переходный к гумидному

Наиболее аридные условия характеризует кластер 2. При этом основным индикатором аридности являются пониженные трехлетние суммы осадков. Годы, относящиеся к кластеру 2, отличаются несколько повышенным количеством осадков холодного периода и апреля, которые, однако, не переводятся в сток, а остаются в местных геосистемах, восполняя потери на экстремально высокое испарение, вызванное аридными условиями. Следовательно, в данном случае положительная разность осадков холодного периода и стока не способствует росту продуктивности водораздельных урочищ. Несмотря на отрицательные аномалии стока, он, судя по нулевому приращению уровня Каспийского моря, все же несколько выше ожидаемых величин. В случае более эффективной экономии ресурсов влаги в местных геосистемах сток был бы еще более снижен, а уровень Каспия падал.

Кластер 8, сходный с кластером 2 отрицательными аномалиями трехлетних сумм осадков, также характеризует аридные условия. Однако минимальные величины стока, одновременно с которыми наблюдаются наибольшие по модулю отрицательные приращения уровня Каспия, свидетельствуют о значительно более эффективном расходовании ресурсов влаги. Причем это относится не только к осадкам холодного периода, но и к характеризующимся положительными

аномалиями осадкам теплого периода и октября. Последнее особенно важно, поскольку указывает на приоритетное расходование летней влаги на местные ландшафтные процессы, в том числе на транспирацию и фотосинтез, что делает данный кластер существенно более благоприятным для биопродуктивности, чем рассмотренный выше кластер 2. Кроме того, за счет повышенных осадков теплого периода и октября создаются условия для роста увлажненности геосистем в последующие годы. Поэтому кластер 8 можно назвать аридным лишь с определенными оговорками.

Годы, относящиеся к кластеру 1, обычно следуют за влажными периодами и могут считаться условно аридными. Обильные осадки зимы и переходных сезонов в значительной степени переводятся в поверхностный сток, для которого характерны ярко выраженные положительные аномалии. Это находит отражение в возрастании уровня Каспийского моря. В годы, формирующие кластер 1, складывается достаточно типичная ситуация, когда наблюдается конкуренция между расходом влаги на сток и на местное испарение. Очевидно, что увеличению непродуктивных для ландшафта расходов влаги на сток пропорционален рост уровня Каспия и уменьшение затрат влаги на биологические процессы в местных геосистемах, что особенно в сочетании с типичным для кластера 1 крайне засушливым летом неблагоприятно для продуктивности водораздельных урочищ в верхневолжских бассейнах, где резко возрастает вероятность развития аридных обстановок в данный и последующие годы.

Противоположные условия увлажнения складываются в годы, относящиеся к кластеру 7. Как и кластер 1, он характеризуется близкими к средним или несколько повышенными трехлетними суммами осадков, положительными аномалиями осадков холодного периода и переходных сезонов, а также значительной летней засушливостью. Однако кластер 7 отличается преобладанием теплых зим, вследствие чего обильные зимние осадки, в среднем на 20 процентов превышающие норму, переводятся в грунтовые воды и в дальнейшем получают возможность расходоваться на ландшафтные процессы. Параллельно росту вклада местного испарения происходит снижение стока и падение уровня Каспия. Эффективное расходование влаги осадков холодного периода, индицируемое максимальной положительной их разностью со стоком, компенсирует дефицит летнего увлажнения и создает благоприятные условия для роста продуктивности водораздельных урочищ Мещеры. Вместе с тем в гидроморфных ландшафтных позициях вследствие прогрессирующего заболачивания, вызванного повышением уровня грунтовых вод, условия для роста сообществ, напротив, ухудшаются. Следовательно, режим увлажнения, индицируемый кластером 7, приводит к высокой внутриландшафтной контрастности биопродуктивности.

Принципиально иные режимы увлажнения ландшафтов Мещеры характеризуют кластеры 3–5.

Отличительная особенность кластеров 3 и 4 – экстремально высокая летняя увлажненность в бассейне верхней Волги. Обильные летние осадки эффективно компенсируют затраты влаги на эвапотранспирацию в местных геосистемах и,

судя по отрицательным аномалиям осадков холодного периода и стока, участвуют в формировании последнего, что, наряду с морозными зимами, способствующими переводу осадков холодного периода в сток половодья, приводит к значительным положительным аномалиям стока и росту уровня Каспийского моря. Именно условиям кластеров 3–5 соответствуют сравнительно кратковременные периоды роста уровня Каспия, наблюдающиеся на фоне долговременной тенденции его снижения с середины XIX века и связанные, таким образом, в первую очередь с обильными летними осадками. В случае кластера 5, представленного только 1991 годом, повышенная увлажненность обусловлена положительной аномалией осадков октября, сочетающейся с обильным увлажнением в предшествующие годы.

Если тенденция повышенной увлажненности в центре Русской равнины сохраняется в течение нескольких лет, то годы, относящиеся к кластеру 3, соответствуют началу многоводной серии, а к кластеру 4 (или, как вариант, к кластеру 5) – ее финалу. При неустойчивом гумидном тренде кластер 4 отсутствует и отмеченной выше закономерной смены не происходит.

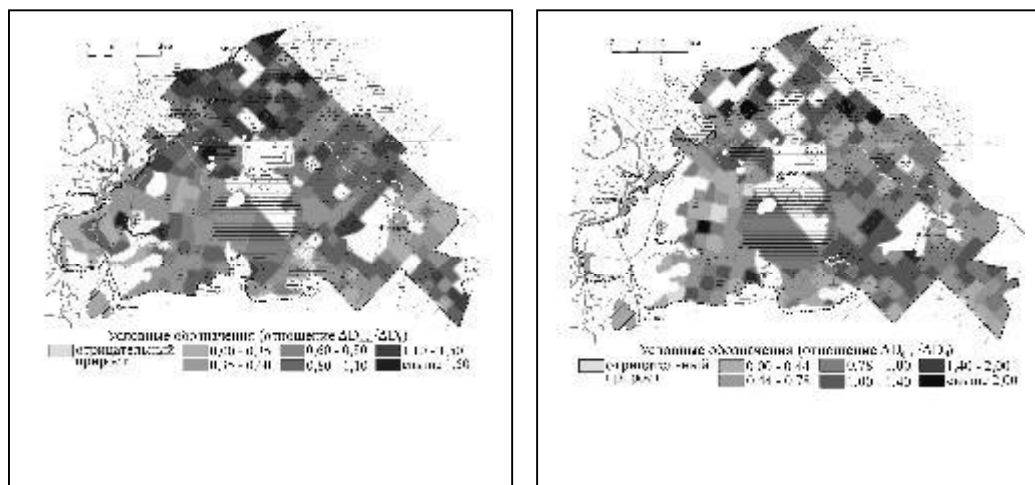
Несмотря на принципиальные отличия между кластерами 3–5 и рассмотренным выше кластером 7 по характеру перераспределения влаги, они, тем не менее, практически идентичны по функциональному отклику сообществ Мещеры. Условия кластеров 3–5, способствующие росту биопродуктивности водораздельных урочищ, являются максимально благоприятными для функционирования сообществ соответствующих ландшафтных позиций. При этом к некоторому снижению положительного эффекта высокой увлажненности приводят отрицательные аномалии летних температур, характерные для кластеров 3 и 4. В то же время реакция сообществ гидроморфных позиций прямо противоположна. Это находит отражение в высокой контрастности биопродуктивности мещерских геосистем, еще более существенной, чем в случае с кластером 7.

Кластер 6 соответствует режиму увлажнения, занимающему переходное положение между аридными и гумидными условиями. Как правило, данный кластер следует за чередой аридных и условно аридных лет (кластеры 1, 2, 8) и за счет характерных для него положительных аномалий осадков переходных сезонов создает условия для накопления влаги в геосистемах. При этом приоритеты в расходовании влаги, преимущественно на сток или на местные ландшафтные процессы, будут определяться особенностями следующих лет. Тем не менее, функционально кластер 6 близок к кластеру 7, о чем свидетельствует и незначительная величина дистанции сцепления между ними на кластер-диаграмме. Это позволяет рассматривать годы, относящиеся к кластеру 6, как периоды с нарастающей гумидностью и соответственно с увеличивающейся биопродуктивностью водораздельных урочищ центра Русской равнины.

От оценки режимов увлажнения перейдем к рассмотрению их динамики в 1980-е – начале 2000-х годов. При этом существенную неоднородность рассматриваемого временного ряда по характеру расходования влаги, отраженную в результатах кластерного анализа (табл. 2), целесообразно

анализировать совместно с пространственно-временными закономерностями продуктивности сообществ Мещеры (рис. 1 и 2).

На рисунках 1 и 2 приведены картосхемы аномалий прироста для сосны и березы, иллюстрирующие особенности пространственно-временной организации функционирования сообществ района исследований. Сосна и береза – породы, лидирующие по распространенности в мещерских ландшафтах. Как известно, физиологические и морфолого-анатомические особенности сосны определяют ее широкую экологическую амплитуду. Произрастая как на сухих песках, так и в условиях олиготрофных болот и занимая, таким образом, крайне неблагоприятные местообитания, сосняки в то же время чутко реагируют даже на незначительное улучшение условий. Береза также способна существенно повышать продуктивность даже при незначительном улучшении гидрологического режима, однако в отличие от сосны она более требовательна к тропности и влажности субстрата.



а)

б)

Рис. 1. Аномалии прироста сосны (а) и березы (б) в 1982–1991 годах

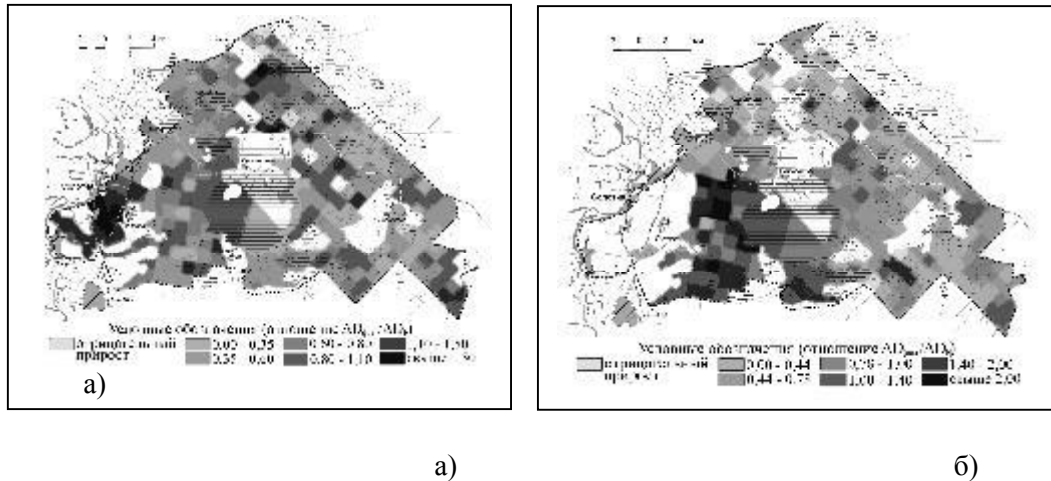


Рис. 2. Аномалии прироста сосны (а) и березы (б) в 1991–2002 годах

Отметим, что всестороннюю оценку закономерностей биопродуктивности для каждой древесной породы можно дать, анализируя целый комплекс карт. Так, средний диаметр насаждений характеризует состояние сообществ на момент проведения лесоустройства и отражает, таким образом, степень благоприятности условий всего предшествующего периода роста. Карты разности диаметров между последовательными таксациями позволяют оценить пространственные закономерности изменения состояния фитоценозов за это время. Подчеркнем, что в целях сравнения продуктивности насаждений разного возраста все показатели прироста, как уже отмечалось выше, сопоставлены с зональными возрастными нормативами.

Как следует из рисунка 1а, крайне низкие аномалии прироста в 1980-е годы были характерны для сосняков Солотчинской останцовой местности. Наибольшие приросты из наблюдавшихся в это десятилетие значительно ниже зональных возрастных нормативов в 1,7 раза, причем на обширной площади прирост отсутствовал вовсе.

Сходная ситуация наблюдалась в близких по условиям местообитаниях, представленных трансэлювиальными ландшафтными позициями Полковского лесничества. Здесь, на обширной территории между Полково и расположенным в центре района исследований Красным болотом, условия для прироста сосны были лишь несколько благоприятнее, что отразилось на величине аномалий, достигающих 80 процентов от норматива в данном возрасте. Примечательно, что столь же низкие приросты – в основном не более 0,16–0,24 см/год – были характерны и для березы, что привело к ухудшению ее состояния на значительной части Полковского лесничества.

Такая динамика биопродуктивности может считаться закономерной. Значительная глубина залегания грунтовых вод (согласно исследованию В.А.

Кривцова, 5–12 м¹⁴) и песчаный субстрат, характерные для Солотчинской останцово-местности, – причины того, что произрастающие здесь сообщества испытывают недостаток влаги и чрезвычайно отзывчивы на улучшение условий увлажнения. В связи с этим благоприятными для биологических процессов в водораздельных урочищах Мещеры являются кластеры 3, 4, 5, 7, с определенными оговорками – кластер 6, создающие условия для накопления влаги в геосистемах и расходования ее на местные ландшафтные процессы.

В то же время, как следует из таблицы 2, аридные условия (кластеры 1 и 2) в основном были характерны для 50 процентов 1980-х годов. Более того, вся первая половина 1980-х годов представляла собой время нарастающей аридности, когда условно аридный кластер 1 (1981, 1982 гг.) сменился еще более засушливыми условиями типично аридного кластера 2 (1983, 1984 гг.). Таким образом, в первой половине 1980-х годов наблюдалась тенденция снижения увлажненности ландшафтов Мещеры, когда дефицит летних осадков сочетался с непродуктивным расходом запасов влаги, сформированных во влажную серию конца 1970-х годов.

Вторая половина 1980-х годов отличалась относительно повышенной увлажненностью, которая, тем не менее, имела неустойчивый характер. Индикатором этого является отсутствие закономерной для устойчивого гумидного тренда смены кластера 3 кластером 4. Кроме того, в ряду влажных лет (кластер 3) снова появляется условно аридный кластер 1. Еще одним фактором, снизившим увлажненность мещерских геосистем, были морозные зимы 1985 и 1987 годов, способствовавшие непродуктивному расходу влаги зимних осадков преимущественно на сток. Рост увлажненности в 1990–1991 годах, безусловно, благоприятно повлиял на прирост сообществ водораздельных урочищ. Однако вследствие запаздывания отклика древостоя на изменение условий среды это не сказалось на данных таксации 1991 года, а отразилось в материалах следующего лесоустройства, проведенного в 2002 году.

Таким образом, особенности биопродуктивности лесных фитоценозов, фиксируемые по данным таксации 1991 года, сформировались главным образом в середине 1980-х годов и отражают биологические последствия упомянутой выше аридной серии (1981–1984 гг.), снизившей прирост сообществ водораздельных урочищ и благоприятно повлиявшей на состояние лесов переувлажненных местообитаний. К последним относится значительная часть Передельского лесничества с достаточно высокой степенью заболоченности, а также участок озерно-аллювиальной равнины между Кельцами и Борисково, соответствующий доплейстоценовой Центральной ложбине стока Мещеры. Индикатором закономерного роста продуктивности сосны и березы на этих территориях в 1980-е годы являются обширные области положительных аномалий прироста на рисунке 1. При этом величины приростов близки к зональным или даже превышают их на 10–50 процентов.

¹⁴ Кривцов В.А. и др. Природный потенциал ландшафтов Рязанской области : моногр. / РГУ им. С.А. Есенина. Рязань, 2011. 720 с.

В 1990-е годы тенденция повышенной биопродуктивности, характерная для 1980-х годов, сохранилась в мещерских болотах лишь локально. Как следует из рисунка 2, приросты сосны и березы в это десятилетие заметно ниже зонального возрастного норматива. Более того, вымокание древостоя, особенно старовозрастного, и повышенные потери при ветровале в ряде случаев приводили к реализации эффекта «отрицательной» продуктивности, когда наряду с уменьшением прироста возрастает размер отпада и происходит выпадение наиболее ослабленных деревьев из состава древостоя. При этом ухудшение гидрологического режима избыточно увлажненных территорий, обусловившее резкое снижение производительности сообществ, является, как и в предыдущее десятилетие, закономерной реакцией на условия увлажнения.

Как следует из таблицы 2, в 1990-е годы было, по крайней мере, три эпизода повышенной увлажненности: в 1991 году (кластер 5), гумидная серия 1993–1994 годов (кластеры 3 и 4), а также период с 1998 по 2001 год (кластеры 6 и 7). Как уже отмечалось выше, кластеры 6 и 7, несмотря на относительно более низкую общую увлажненность, отличаются мягкими зимами и, следовательно, сохранением влаги зимних осадков в местных геосистемах. Поэтому в 1998–2001 годах наблюдался столь же выраженный эффект гумидизации, как и при реализации серии лет, относящихся к кластерам 3–5. В то же время типичные аридные обстановки в 1990-е годы вообще отсутствовали, а условно аридные (кластеры 1, 8) были выражены слабо и прерывались гумидными сериями.

Такая тенденция увлажненности способствовала росту продуктивности водораздельных урочищ: территория Солотчинской останцовой местности в 1990-е годы охвачена областями значительных положительных аномалий прироста, в ряде случаев превышающих зональный норматив более чем на 50 процентов. Темпы прироста сосны в это десятилетие были в 2–4 раза выше, чем в 1980-е годы. Примечательно, что аналогичные высокие приросты – 0,35–0,40 *см/год* – были характерны в 1990-е годы и для старовозрастного Монастырского бора, расположенного в рекреационной зоне поселка Солотча. Несмотря на 200-летний возраст, сосна здесь функционировала синхронно с остальными сообществами солотчинской местности, откликнувшись на рост увлажнения столь же высокими приростами.

В то же время тенденция ухудшения состояния сосняков в Полковском лесничестве, проявившаяся в 1980-е годы, сохранилась и в 1990-е годы. Это доказывает то, что сосна, несмотря на широкую экологическую амплитуду, обладает достаточно узкой зоной оптимума. Оптимальные и близкие к ним условия увлажнения для сосны в 1990-е годы, судя по максимальным ее приростам, сложились, как показано выше, в водораздельных урочищах останцов третьей надпойменной террасы Оки. В то же время береза, оптимум увлажнения которой сдвинут в сторону более высоких значений, напротив, заметно увеличила свой прирост на большей части Полковского лесничества, что позволяет признать трансэлювиальные ландшафтные позиции наиболее благоприятными для функционирования березняков в 1990-е годы. Отметим также, что береза в большинстве случаев выступает в качестве антагониста сосны. Ее отрицательное воздействие заключается в вытеснении корней сосны из верхней гумусированной

части почвы в нижние менее плодородные слои, а также в механическом воздействии в форме охлестывания. Береза, однако, присутствует на большей части Полковского лесничества в виде примеси к сосновым насаждениям, и ее доля в древостое не превышает 30 процентов. В этом случае, согласно исследованию А.И. Чешуина ¹⁵, негативное влияние березы на сосну не проявляется. Тем не менее, в ряде кварталов лесничества, расположенных к западу от деревни Лопухи и маркируемых на рисунке 2 высокими приростами березы и крайне низкими сосны, доля березы в сообществах превышает 60 процентов. По-видимому, описываемая ситуация может служить примером того, как негативное влияние на прирост сосны условий увлажнения усиливается конкуренцией со стороны оказавшейся в более благоприятных условиях березы, что приводит к еще большему снижению продуктивности сосняков. Очевидно, что функционирование смешанных насаждений – процесс более сложный и многофакторный, чем в случае однопородных древостоев, и требует дополнительного изучения.

Помимо диаметров, на основе которых оценены закономерности пространственно-временной динамики биопродуктивности, важнейшими таксационными показателями древостоев являются также их возраст и высота, совместный учет которых характеризует бонитет насаждения. Функцией от возраста, высоты и диаметра древостоя являются запасы отдельных фракций фитомассы. Сведения о них содержатся в многочисленных исследованиях, лесотаксационных материалах и региональных таблицах хода роста древостоев, обобщенных в последние годы в виде баз данных и нормативных справочников. На основе нормативных значений из базы данных В.А. Усольцева ¹⁶ нами получены уравнения зависимости запасов фракций фитомассы от таксационных характеристик древостоя.

В качестве примера приведем ряд зависимостей для березы, полученных в программном пакете «STATISTICA» с использованием модуля «Фиксированная нелинейная регрессия» (табл. 3). Сложный и неоднозначный характер взаимосвязей, смена темпов и закономерностей роста дерева в течение жизни обуславливают сложность полученных функций. Рисунок 3 иллюстрирует точность аппроксимирующих зависимостей. Отметим, что полученные функции описывают целое семейство кривых, соответствующих динамике запасов отдельных фракций фитомассы для разных бонитетов. На основе установленных зависимостей и рядов таксационных показателей древостоев, содержащихся в материалах лесоустройства, представляется возможным рассчитать запасы отдельных фракций фитомассы для фитоценозов района исследований.

Таблица 3

¹⁵ Чешуин А.Н. Лесопатологические критерии формирования высокопродуктивных сосновых насаждений в сложных типах леса лесостепной зоны Среднего Поволжья : дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2005. 273 с.

¹⁶ Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии.

Зависимость запасов отдельных фракций фитомассы березы
от таксационных показателей древостоя

Уравнение зависимости	R^2	α
$P_s = -1,01578 + 0,11712 \cdot H^2 + 1,2458 \cdot H + 0,1336 \cdot 10^{-4} \cdot A^3 - 0,00785 \cdot D^2 - 0,0288 \cdot 10^{-8} \cdot A^5 + 0,00038 \cdot H^3 + 3,12819 \cdot D - 0,39804 \cdot A$	0,9999	0,0000
$P_{sb} = 0,113668 + 0,297087 \cdot H + 0,006964 \cdot H^2 + 0,366 \cdot 10^{-5} \cdot A^3 + 0,416993 \cdot D - 0,049731 \cdot A - 0,00462 \cdot D^2 + 0,4398 \cdot 10^{-4} \cdot D^3 - 0,1872 \cdot 10^{-7} \cdot A^4$	0,9999	0,0000
$P_f = 1,002981 + 0,156504 \cdot H - 0,1298 \cdot 10^{-5} \cdot H^4 - 0,022399 \cdot D + 0,5011 \cdot 10^{-4} \cdot D^3 - 0,008807 \cdot A + 0,3186 \cdot 10^{-6} \cdot A^3 - 4,163476 \cdot 10^{-4} \cdot H^2$	0,9995	0,0000
$P_b = 0,229983 + 0,006651 \cdot H^2 + 0,506117 \cdot H + 0,4381 \cdot 10^{-5} \cdot D^4 - 0,2871 \cdot 10^{-6} \cdot H^5 + 0,177299 \cdot D + 0,8277 \cdot 10^{-5} \cdot H^4 - 0,070027 \cdot A + 0,000399 \cdot A^2$	0,9999	0,0000
$P_r = -0,12654 - 0,614574 \cdot H + 0,731 \cdot 10^{-8} \cdot A^4 + 2,881458 \cdot D - 0,044599 \cdot D^2 - 0,000229 \cdot A^2 + 0,000625 \cdot H^3 - 0,120613 \cdot A + 0,36 \cdot 10^{-7} \cdot H^5$	0,9999	0,0000

P_s , P_{sb} , P_f , P_b , P_r – фитомасса в абсолютно сухом состоянии соответственно стволов с корой, коры стволов, листьев, ветвей, корней березы, $m/га$; A – возраст древостоя, лет; H – средняя высота древостоя, м; D – средний диаметр стволов, см; R^2 – коэффициент детерминации; α – уровень значимости.

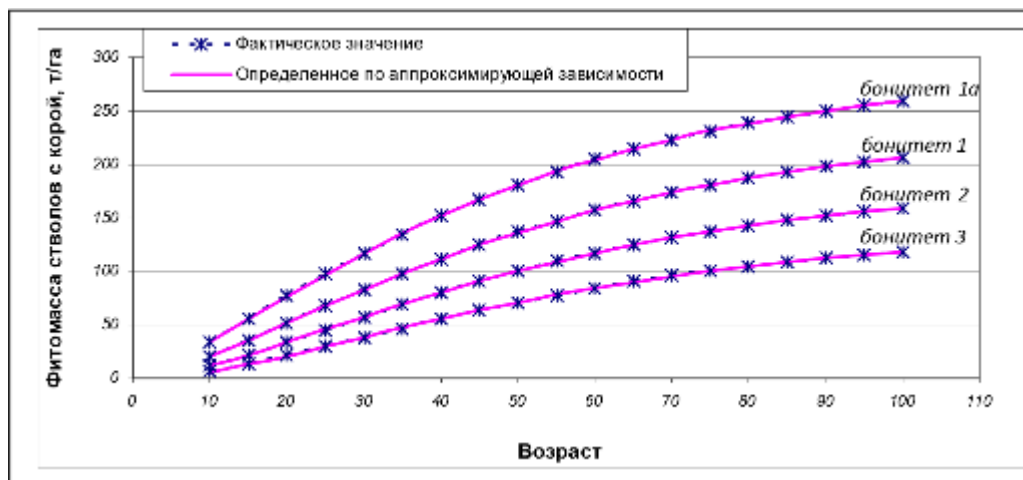


Рис. 3. Возрастная динамика фитомассы стволов с корой березы для разных бонитетов: фактические значения (по базе данных В.А. Усольцева) и определенные по аппроксимирующей зависимости из таблицы 3

Определение размеров и структуры фитомассы сообществ является необходимым условием для оценки емкости биокруговоротов элементов, углеродного баланса лесов, а также устойчивости сообществ к разнообразным природным и антропогенным факторам. Перспективным направлением дальнейших исследований, на наш взгляд, может быть изучение биогеохимических аспектов устойчивости лесных сообществ Мещеры к антропогенному химическому загрязнению. Выполнение данной работы возможно на основе синтеза детальных оценок биопродуктивности фитоценозов и протекающих в них биогеохимических круговоротов, изучением которых мы занимаемся в настоящее время. В заключение хочется отметить, что староосвоенные ландшафты Центра России особенно остро нуждаются в исследованиях подобного рода. Характеризуясь высокой техногенной преобразованностью биогеохимических потоков, они в то же время отличаются недостаточной изученностью и фрагментарностью данных по биогенной миграции, в том числе и высокотоксичных элементов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Беляков, А.И. Пространственно-временные ритмы функционирования внутриландшафтных геосистем (на примере среднетаежных ландшафтов юга Архангельской области) [Текст] : дис. ... канд. геогр. наук / Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – М., 2003. – 260 с.
- 2.Будыко, М.И. Климат в прошлом и будущем [Текст] : моногр. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – 352 с.
- 3.Величко, А.А. Влагозапасы в почвах при глобальном потеплении климата, опыт прогнозирования на примере Восточной Европы [Текст] / А.А. Величко [и др.] // Почвоведение. – 1995. – № 8. – С. 933–942.
- 4.Гирс, А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы [Текст] : моногр. – Л. : Гидрометеиздат, 1971. – 280 с.
- 5.Коломыц, Э.Г. Локальные коэффициенты увлажнения и их значение для экологических прогнозов [Текст] // Известия РАН. Сер. Географическая. – 2010. – № 5. – С. 61–72.
- 6.Коломыц, Э. Г. Региональная модель глобальных изменений природной среды [Текст] : моногр. – М. : Наука, 2003. – 371 с.
- 7.Корепанов, Д.А. Лесоводственная эффективность осушения избыточно увлажненных земель Волжско-Камского междуречья [Текст] : дис. ... д-ра с.-х. наук / Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2006. – 496 с.
- 8.Кривцов, В.А. Природный потенциал ландшафтов Рязанской области [Текст] : моногр. / В.А. Кривцов [и др.] ; РГУ им. С.А. Есенина. – Рязань, 2011. – 720 с.

9. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [Текст] : в 2 т. / Росгидромет. – Т. 2 : Последствия изменений климата. – М., 2008. – 288 с.

10. Парфенова, Е.И. Биоклиматические модели коренных лесов гор Южной Сибири [Текст] / Е.И. Парфенова, Н.М. Чебакова // Лесоведение. – 2009. – № 5. – С. 34–42.

11. Плешиков, Ф.И. Лесные экосистемы Енисейского меридиана [Текст] : моногр. / Ф.И. Плешиков [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. – 356 с.

12. Пузаченко, Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов. – М. : Академия, 2004. – 416 с.

13. Усольцев, В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии [Текст] : моногр. / УрО РАН. – Екатеринбург, 2002. – 762 с.

14. Чешуин, А.Н. Лесопатологические критерии формирования высокопродуктивных сосновых насаждений в сложных типах леса лесостепной зоны Среднего Поволжья [Текст] : дис. ... канд. биол. наук / Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2005. – 273 с.

15. Швиденко, А.З. Материалы к познанию современной продуктивности лесных экосистем России [Текст] // Базовые проблемы перехода к устойчивому управлению лесами России – учет лесов и организация лесного хозяйства : материалы Междунар. семинара / Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. – Красноярск, 2007. – С. 7–37.

REFERENCES

1. Belyakov, A.I. *Prostranstvenno-vremennyye ritmy funktsionirovaniya vnutrilandshaftnykh geosistem (na primere srednetayezhnykh landshaftov yuga Arkhangel'skoy oblasti)* [Spatio-temporal rhythms of interior landscape geosystems functioning (on the example of middle south Arkhangelsk region landscapes)] [Text]. – Moscow : Moscow state university named after M.V. Lomonosov, 2003. – 260 p.

2. Budyko, M.I. *Klimat v proshlom i budushchem* [The climate in the past and the future] [Text]. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1980. – 352 p.

3. Velichko, A.A. *Vlagozapasy v pochvakh pri global'nom poteplenii klimata, opyt prognozirovaniya na primere Vostochnoy Yevropy* [Moisture reserves in the soil under global warming, the experience of forecasting the example of Eastern Europe] [Text] // Pedology. – 1995. – N. 8. – P. 933–942.

4. Girs, A.A. *Mnogoletniye kolebaniya atmosfery i dolgosrochnyye gidrometeorologicheskiye prognozy* [Long-term fluctuations in atmospheric circulation and long-term meteorological forecasts] [Text]. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1971. – 280 p.

5. Kolomyts, E.G. *Lokal'nyye koeffitsiyenty uvlazhneniya i ikh znacheniye dlya ekologicheskikh prognozov* [Local coefficients of moisture and their implications for environmental forecasting] [Text] // *Izvestiya RAN. Ser. geograficheskaya*. – Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Series. Geographic. – 2010. – N. 5. – P. 61–72.

6. Kolomyts, E.G. *Regional'naya model' global'nykh izmeneniy prirodnoy sredy* [Regional model of global environmental change] [Text]. – Moscow : Science, 2003. – 371 p.

7. Korepanov, D.A. *Lesovodstvennaya effektivnost' osusheniya izbytochno uvlazhnennykh zemel' Volzhsko-Kamskogo mezhdurech'ya* [Silvicultural efficiency draining wetlands Volga-Kama interfluve] [Text] / Ural state forestry engineering university. – Yekaterinburg, 2006. – 496 p.
8. Krivtsov, V.A. *Prirodnyy potentsial landshaftov Ryazanskoj oblasti* [Potential natural landscapes Ryazan region] [Text] / Ryazan State University named after S.A. Yesenin. – Ryazan', 2011. – 720 p.
9. *Otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii* [Evaluation report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation] [Text] / Rosgidromet. – Vol. 2. : Consequences of climate change. – Moscow, 2008. – 288 p.
10. Parfenova, Ye.I. Chebakova N.M. *Bioklimaticheskiye modeli korennykh lesov gor Yuzhnoy Sibiri* [Bioclimatic models indigenous mountain forests of southern Siberia] [Text] // *Dendrology*. – 2009. – N. 5. – P. 34–42.
11. Pleshikov, F.I. *Lesnyye ekosistemy Yeniseyskogo meridiana* [Forest ecosystems Yenisei Meridian] [Text]. – Novosibirsk : Publishing house of Russian Academy of sciences, 2002. – 356 p.
12. Puzachenko, Yu.G. *Matematicheskiye metody v ekologicheskikh i geograficheskikh issledovaniyakh* [Mathematical methods in ecological and geographical studies] [Text]. – Moscow : Academia, 2004. – 416 p.
13. Usol'tsev, V.A. *Fitomassa lesov Severnoy Yevrazii: normativy i elementy geografii* [Forest Biomass of Northern Eurasia: standards and elements of geography] [Text] / Ural Russian Academy of sciences. – Yekaterinburg, 2002. – 762 p.
14. Cheshuin, A.N. *Lesopatologicheskiye kriterii formirovaniya vysokoproduktivnykh sosnovykh nasazhdeniy v slozhnykh tipakh lesa lesostepnoy zony Srednego Povolzh'ya* [Forest pathological criteria for the formation of highly complex pine plantations in forest types, forest-steppe zone of the Middle Volga] [Text] / Ural state forestry engineering university. – Yekaterinburg, 2005. – 273 p.
15. Shvidenko, A.Z. *Materialy k poznaniyu sovremennoy produktivnosti lesnykh ekosistem Rossii* [Materials to the knowledge of modern productivity of forest ecosystems in Russia] [Text] // *Bazovyye problemy perekhoda k ustoychivomu upravleniyu lesami Rossii – uchet lesov i organizatsiya lesnogo khozyaystva : materialy mezhdunar. seminara* – Basic problems of transition to sustainable forest management Russia – accounting of forests and forestry organization: Proceedings of International. Seminar /– Institute of Forest named after V.N. Sukachev Siberian Russian academy of sciences. – Krasnoyarsk, 2007. – P. 7–37.

S.A. Tobratov, O.S. Zheleznova

**BIOLOGICAL PRODUCTIVITY
OF THE XYLEM IN RYAZAN MESHCHERA
IN THE CONDITIONS OF CLIMATE DYNAMICS:
SPACE AND TIME ASPECTS**

The paper generalizes the results of the investigation of space and time regularities of biological productivity of the xylem in Ryazan Meshchera. The data of forest inventory serves

as a basis for a databank of forest characterization and forest evolution in the 1980s – early 2000s. The paper maintains that the changes in the productivity of plant community are predetermined by the dynamics of moistening in the center of the Russian plain. The analysis of moistening dynamics manifested significant differences in the humidity of Meshchera geosystems in the 1980s and the 1990s. The paper maintains that the acquired results can be used for the assessment of the xylem resistibility to anthropogene chemical pollution.

biological productivity, indicators of landscape moistening, climate, landscape, xylem.