

УДК 631.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ГИДРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.В. ПАХУЧИЙ, *проф. Сыктывкарского лесного института (филиала) СПб ГЛТУ им. С.М. Кирова, д-р с.-х. наук⁽¹⁾*,

Л.М. ПАХУЧАЯ, *доц. Сыктывкарского лесного института (филиала) СПб ГЛТУ им. С.М. Кирова⁽¹⁾*,

Д.А. ШЕВЕЛЕВ, *асп. Сыктывкарского лесного института (филиала) СПб ГЛТУ им. С.М. Кирова⁽¹⁾*

pakhutchy@rambler.ru, pakhutchaya@rambler.ru, d-shevelev@agiks.ru

⁽¹⁾ Сыктывкарский лесной институт (филиал) ФГБОУ ВПО СПб ГЛТУ им. С.М. Кирова
167982 Сыктывкар, ГСП-1, ул. Ленина, 39,

Использование методов дистанционного зондирования Земли находит все большее применение в лесоводственно-экологических и таксационных исследованиях. Рассматриваются результаты исследований в насаждениях на объектах лесосошения в Корткеросском лесничестве Республики Коми, строительство осушительной сети в котором выполнено в 1976 г. Рассмотрена возможность применения при оценке влияния осушения на рост леса данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий. Предложено использовать при исследованиях различные по площади и форме опытные объекты: пробные площади, лесные массивы в кварталах (полигоны) и узкие трансекты. Показана целесообразность применения при гидролесомелиоративных исследованиях вегетационных индексов, в т. ч. NDVI – нормализованного разностного индекса растительности. Расчет индекса NDVI производится на использовании двух наиболее стабильных участков спектральной кривой отражения растениями, при этом высокая фотосинтетическая активность, связанная с более продуктивными фитоценозами, ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему отражению в инфракрасной области спектра. Установлено, что теснота связи между индексом NDVI и удалением пробных площадей или трансект от каналов или степенью канализации в границах квартала выше при использовании пробных площадей и трансект и ниже для выборок из полигонов. Независимо от вида опытных объектов (пробные площади, трансекты, полигоны) в средней подзоне тайги Республики Коми на объектах гидролесомелиорации на водораздельных площадях индекс NDVI больше на участках с большей степенью канализации и вблизи осушительных каналов.

Ключевые слова: Республика Коми, гидролесомелиорация, вегетационные индексы

Дистанционные методы находят широкое применение при изучении структуры и производительности лесных фитоценозов, для оценки санитарного состояния лесов, их инвентаризации и др. В то же время при исследовании влияния лесосошения на рост леса, изменчивости таксационных показателей древостоев на межканальной полосе, других характеристик лесоводственной эффективности гидромелиорации эти методы используются сравнительно редко [1, 2]. В данной работе приведены результаты исследований на объектах гидролесомелиорации в средней подзоне тайги Республики Коми. При оценке влияния осушения на рост леса использованы данные дистанционного зондирования Земли и геоинформационные технологии. При этом в качестве показателя, получаемого по снимкам и косвенно отражающего производительность насаждений, использовали наиболее часто используемый

вегетационный индекс NDVI – нормализованный разностный индекс растительности. Расчет NDVI основан на использовании двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участков спектральной кривой отражения растениями. В красной области спектра находится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом растений, а в инфракрасной области – максимальное отражение клеточными структурами листа. То есть высокая фотосинтетическая активность, связанная, как правило, с более продуктивными фитоценозами, ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему отражению в инфракрасной области спектра.

Объекты и методы исследований

Объекты исследования представлены осушаемыми участками в Корткеросском участковом лесничестве Корткеросского лесничества Республики Коми. Строитель-

Характеристика насаждений на опытных участках
Characteristics of the stands on the experimental plots

№ пробной площади / год таксации	порода	Характеристика древостоев элементов леса				Характеристика ярусов			Текущий класс бонитета	Тип леса
		Д, см	Н, м	А, лет	М, м³/га	Состав	Р отн	М, м³/га		
5 / 2002	С	15,5	14,7	110	194	8С2Е ед.Б	1,0	234	III-IV	С. черн.
	Е	18,4	15,0	170	33					
	Б	11,6	10,7	100	7					
11 / 1998	С	13,5	8,5	146	92	10С ед.Б	0,9	93	V	С. сф.
	Б	9,5	9,0	41	1					
25 / 1998	С	17,8	12,3	181	153	10С ед.Е, ед.Б	0,9	155	Va	С. б.-сф.
	Е	8,0	6,4	141	1					
	Б	8,1	8,1	66	1					

Примечание: Д – диаметр, Н – высота, А – возраст, N – густота, G – сумма площадей сечения (для яруса – абсолютная полнота), М – запас древесины, Р отн. – полнота относительная, С – сосна, Е – ель, Б – береза, сф. – фагновый, б.-сф. – багульниково-сфагновый, черн. – черничник.

ство осушительной сети здесь выполнено в 1976 г. Характеристика опытных объектов и физико-географических условий района исследования приводилась ранее [2–4]. Фрагмент таксационного описания насаждений на объектах лесосушения приведен в табл. 1.

Числовые значения пикселей (DN – digital numbers) для пробных площадей определяли по снимку Landsat TM5 (25.06. 2009 г., разрешение 15 и 30 м) и Канопус-В (10.07.2013 г., разрешение 10 м), а в границах кварталов – по снимку с Landsat TM5 16.08.2007 г. (разрешение 30 м). При оценке этих значений на узких трансектах, закладываемых вдоль каналов, использовали снимок сверхвысокого разрешения (0,5 м) со спутника WorldView-2 (дата съемки 17.07.2013 г.). Для снимков выполнена геометрическая и радиометрическая коррекция.

Расчет индекса NDVI выполнен по формуле

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED), \quad (1)$$

где NIR – значение DN в ближней инфракрасной области спектра;

RED – значение DN в красной области спектра.

Для визуализации и анализа данных дистанционного зондирования создавались ГИС-представления. Их основой служили лесоустроительные планшеты, топографические

карты, космические снимки, данные GPS. Для работы в среде ГИС и получения характеристик снимков использовали программные продукты ArcGIS, Quantum GIS, ERDAS IMAGINE, ENVI 4.6.1. Учитывая реальные размеры пробных площадей, на снимках при разрешении 30 м их площадь ограничивали 2–3, при разрешении 15 м – 20–30, при разрешении 10 м – 50–60 пикселями. Аналогичный подход был принят при выявлении медленных изменений в лесах, когда в пределах изучаемых участков выделялись площади размером 2–6 пикселей [5]. Размеры и площадь кварталов принимали согласно материалам лесоустройства. Протяженность каналов в границах кварталов устанавливали на основе измерений по снимку. Степень канализации в целом для квартала определялась по соотношению протяженности каналов в квартале (км) к площади квартала (км²) (табл. 2). Размеры трансект составляли 195×1 пиксель. Удаление рядов пикселей от осушительных каналов определяли по кратчайшему расстоянию от их центров до каналов.

Результаты исследований

Для двух выборок по 5 пробных площадям (спутник Канопус-В, 10.07.2013 г., разрешение 10 м) в пределах одного межканального пространства на осушенном водоразделе

Т а б л и ц а 2

**Фрагмент выборки характеристик степени канализации и индекса NDVI
в кварталах Корткеросского участкового лесничества**
**A fragment of the sample of characteristics of the degree of sewage and NDVI
in the blocks of Kortkeros district forestry**

Номер квартала	Площадь квартала, км ²	Протяженность каналов в квартале, км	Степень канализации (протяженность каналов/площадь квартала), км/км ²	Среднее значение NDVI (16.08.2007 г.)
14	2,50	2,52	1,01	0,46
16	2,30	10,47	4,55	0,48
78	1,41	4,67	3,32	0,46
79	1,16	10,57	9,14	0,47
80	2,01	10,72	5,34	0,47
161	1,72	3,19	1,86	0,43
206	2,87	5,85	2,04	0,49
207	2,85	7,74	2,71	0,48
208	3,07	9,20	3,00	0,49

Примечание: общее количество кварталов в выборке – 37, диапазон изменения степени канализации для всей выборки – от 0,77 до 9,14 км/км², диапазон изменения NDVI – от 0,43 до 0,49.

Т а б л и ц а 3

**Зависимость NDVI от расстояния до осушительных каналов (м)
при различной мощности торфа на пробных площадях (м)**
**The dependence of NDVI on the distance from drainage channels (m) f
or various capacity of peat in the experimental plots (m)**

№	N	R	R _{0,05}	Коэффициенты уравнения $Y=AX+B$		Мощность торфа, м
				A	B	
1	12	0,63	0,58	-0,00080	0,5407	0,15-0,25
2	19	0,50	0,46	-0,00050	0,5281	0,15-0,30
3	25	0,24	0,40	-0,00020	0,5157	0,15-0,40
4	32	0,09	0,35	-0,00009	0,5083	0,15-0,60
5	19	0,29	0,46	-0,09240	0,5340	0,15-0,30
6	32	0,37	0,35	-0,04880	0,5221	0,15-0,60

Примечание: X, м – расстояние от центра пробной площади до ближнего канала; Y – NDVI (нормализованный разностный индекс растительности); N – повторность опыта (количество пробных площадей); R – коэффициент корреляции

между NDVI и расстоянием от середины пробной площади до ближнего канала установлена отрицательная связь, достигающая по тесноте средней величины ($R = 0,36-0,56$; $R_{0,05} = 0,88$), т. е. на качественном уровне показано, что вблизи каналов индексы больше, чем на середине межканальной полосы. Это согласуется с представлением о данном индексе как относительной характеристике фитомассы, количественные оценки которой при выраженном лесоводственном эффекте осушения должны быть больше вблизи каналов.

Увеличение выборки пробных площадей с 5 до 12–19 (табл. 3) приводит к повышению тесноты связи на достаточно высоком уровне значимости ($R = 0,50-0,63$; $R_{0,05} = 0,46-0,58$). Дальнейшее увеличение объема выборки до 25–32 пробных площадей приводит к обратному эффекту ($R = 0,24-0,09$; $R_{0,05} = 0,40-0,35$).

При объяснении установленной закономерности необходимо учитывать, что объекты исследования расположены на водораздельной площади с мелкой залежью

торфа (по отдельным измерениям от 0,15–0,20 м до 0,8–0,9 м). В среднем для пробных площадей мощность торфа не превышает 0,6 м. В этом случае определенное значение для роста леса и накопления фитомассы может иметь близость к поверхности подстилающего минерального грунта, т. е. мощность торфа. Анализ данных табл. 3 показывает, что при выравнивании выборки включенных в анализ пробных площадей по мощности торфа коэффициент корреляции и коэффициент регрессии увеличиваются. При ограничении выборки пробных площадей по мощности торфа в пределах 0,15–0,25 м коэффициент корреляции между индексом NDVI и расстоянием до ближнего канала достигает 0,63 и достоверен на 5 % уровне значимости. В рассмотренных случаях коэффициенты регрессии отрицательные. Однако, учитывая тенденцию уменьшения коэффициента регрессии по абсолютной величине с увеличением диапазона мощности торфа, можно допустить, что при определенной комбинации опытных объектов коэффициенты регрессии могут принять положительное значение. Это необходимо учитывать при оценке влияния осушительной сети на водный режим почв и рост леса на мелкозалежных торфяниках [6, 7].

Индекс NDVI недостоверно или слабо достоверно на 5 % уровне значимости зависит от мощности торфа ($R = 0,29–0,37$; $R_{0,05} = 0,46–0,35$). В данном случае дифференцирование опытных объектов в выборках по расстоянию до осушительных каналов не выполнялось. При выравнивании выборки по признаку «расстояние до осушительных каналов» наблюдается усиление связи между индексом NDVI и мощностью торфа. Так, для 14 пробных площадей на водораздельной площади, расположенных вблизи осушительных каналов (удаление центров пробных площадей от осушителя 12–14 м), установлена достоверная линейная зависимость между NDVI и мощностью торфа (2)

$$y = -0,0808x + 0,5367 \quad (R = 0,68; R_{0,05} = 0,53; R_{0,01} = 0,66), \quad (2)$$

где y – NDVI,

x – мощность торфа, м.

При аппроксимации зависимости между этими показателями степенной функцией теснота связи усиливается ($R = 0,75$; $R_{0,05} = 0,53$; $R_{0,01} = 0,66$).

При расстоянии между регулируемыми осушителями 120–130 м количество закладываемых на межканальном пространстве в полевых условиях опытных участков ограничено и обычно не превышает 5 пробных площадей. При оценке изменчивости значений пикселей на межканальном пространстве по космоснимкам количество сравниваемых рядов пикселей может быть существенно увеличено за счет использования снимков сверхвысокого разрешения и линейных опытных объектов – трансект. Регрессионный анализ зависимости средних значений индекса NDVI для 87 и 40 трансект от расстояния до ближнего канала показал следующее. Для совокупности 87 трансект наблюдается уменьшение среднего значения индекса NDVI по мере движения от каналов к середине межканальной полосы

$$y = -0,0009x + 0,6514 \quad (R^2 = 0,1363; R = 0,37; R_{0,01} = 0,27). \quad (3)$$

Такая же закономерность наблюдается для совокупности 40 трансект

$$y = -0,0011x + 0,6203 \quad (R^2 = 0,3247; R = 0,56; R_{0,01} = 0,39), \quad (4)$$

где x – удаление трансекты от канала, м;

y – NDVI.

В обоих случаях связь слабая или средняя, по направлению отрицательная. Т. е., так же как и при использовании пробных площадей, подтверждается установленная выше закономерность, свидетельствующая о том, что фитомасса насаждений вблизи каналов больше, чем на середине межканального пространства. В то же время в данном случае связь достоверна на высоком (1 %) уровне значимости.

Оценка зависимости NDVI от степени канализации в границах квартала показала, что на водораздельных площадях с преимущественно мелкой залежью или с мелкой и средней залежью торфа коэффициент корреляции между данными показателями составляет около 0,30 ($R_{0,05} = 0,44–0,71$). Направление связи положительное, т. е. чем больше

протяженность каналов на единице площади, тем больше индекс NDVI.

Для участков на надпойменных террасах такая тенденция может не сохраняться. Связь слабая, недостоверная и даже отрицательная, хотя коэффициенты регрессии в этом случае незначительны по величине

$$y = -0,0001x + 0,4712 \quad (R = 0,017; R_{0,05} = 0,67), \quad (5)$$

где x – степень канализации (км/км²);

Y – NDVI.

Причина слабой связи между индексом NDVI и степенью канализации на надпойменных террасах, видимо, объясняется тем, что уровни почвенно-грунтовых вод здесь залегают в торфе, степень разложения которого в результате трансформации торфяной залежи после осушения достигает 55–60 % [8]. Вследствие быстрого подтока влаги по капиллярам над уровнем воды практически независимо от его колебания поддерживается высокая влажность. Запасы влаги в верхних горизонтах изменяются в течение периода вегетации незначительно. Это приводит к выравниванию водного режима в корнеобитаемой зоне на межканальной полосе и ослаблению связи между степенью канализации и индексом NDVI.

Из определения индекса NDVI следует, что при достаточной сомкнутости полога насаждений его величина в значительной степени определяется фитомассой листьев (хвои). Определение фитомассы компонентов дерева сопряжено с определенными трудностями. В то же время, получение таких оценок возможно на основе конверсионных коэффициентов [9, 10]. Используя такие коэффициенты и данные о запасе древесины на опытных участках вблизи осушительных каналов, получили массу хвои (листьев) на 1 га на этих участках. В зависимости от состава и типа леса на 14 пробных площадях этот показатель изменялся от 8,4 до 26,5 т/га. Сравнение индексов NDVI и массы хвои (листьев) на этих пробных площадях показало, что между этими показателями наблюдается достоверная положительная связь

$$y = 0,0022x + 0,4726 \quad (R^2 = 0,3274; R = 0,58; R_{0,05} = 0,53), \quad (6)$$

где x – фитомасса хвои (листьев), т/га;

Y – NDVI.

Установленная зависимость согласуется с известным представлением о вегетационном индексе NDVI как о косвенной характеристике продуктивности фитоценозов, в т. ч. лесных сообществ на объектах гидромелиорации. При наличии статистически достаточного количества тестовых объектов, для которых определены или рассчитаны характеристики компонентов фитомассы, возможно решение обратной задачи, т. е. получение уравнений для количественной оценки фитомассы по значениям индекса NDVI. Для объектов лесосошения это могут быть участки с различной степенью канализации, насаждения, отличающихся составом и производительностью, расположенные на различном удалении от осушительных каналов.

Таким образом, при гидроресомелиоративных исследованиях методами геоинформационных технологий и дистанционного зондирования в качестве объектов исследования возможно использование пробных площадей, узких трансект и лесных массивов в границах кварталов (полигонов). Традиционные пробные площади следует рассматривать как основной объект исследования и учетную единицу в полевых условиях и на космоснимках. В то же время, при изучении роста леса, реакции древостоев на осушение, элементов водного режима при малых расстояниях между каналами полезно использование узких трансект по снимкам сверхвысокого разрешения. Применение трансект позволяет увеличить количество учетных единиц (повторностей) на межканальном пространстве и повысить достоверность оценок тесноты связи между, например, значениями пикселей и их удалением от каналов на снимке.

При использовании полигонов, а не пробных площадей или трансект, изменчивость средних оценок значений пикселей уменьшается. По данным табл. 2 средние значения NDVI для кварталов изменяются от 0,43 до 0,49. Это приводит к ослаблению анализируемых связей между NDVI и степенью канализации в квартале. Однако в данном случае можно учесть влияние на рост леса

не только регулирующих осушителей, но и проводящей сети. Такой подход полезен при нерегулярном размещении осушительных каналов на осушаемой площади. При этом возможно использование лесоустроительных материалов, характеризующих размеры и площадь кварталов и запасы древесины в их границах. Наконец, необходимо учитывать, что осушаются именно лесные массивы. Поэтому для получения реальных оценок лесоводственной эффективности осушения целесообразно использование не только пробных площадей, но и полигонов достаточной большой площади.

Заключение

При гидролесомелиоративных исследованиях на основе данных дистанционного зондирования и методов ГИС-технологий могут быть использованы традиционные пробные площади, трансекты или лесные массивы в границах кварталов (полигоны). Теснота связи между индексом NDVI (нормализованный разностный индекс растительности) и удалением пробных площадей или трансект от каналов или степенью канализации в границах квартала выше при использовании пробных площадей и трансект и ниже для выборок из полигонов.

Между индексом NDVI и фитомассой хвой (листьев) насаждения, полученной на основе конверсионных коэффициентов, установлена достоверная положительная связь ($R^2 = 0,3274$; $R = 0,58$; $R_{0,05} = 0,53$).

Независимо от вида опытных объектов (пробные площади, трансекты, полигоны) в средней подзоне тайги Республики Коми на объектах гидролесомелиорации на водораздельных площадях индекс NDVI больше на участках с большей степенью канализации и вблизи осушительных каналов. Это согласуется с базовыми положениями гидролесомелиорации о влиянии осушения на рост и производительность леса.

При использовании индекса NDVI для оценки влияния осушения на накопление фитомассы на мелкозалежных торфяниках необходимо учитывать мощность торфа. При ограничении выборки учетных единиц по мощности торфа теснота связи между индексом NDVI и показателями интенсивности осушения (удаление от осушительных каналов, степень канализации) увеличивается.

Библиографический список

1. Серов, А.В. Опыт определения состава насаждений / А.В. Серов, О.И. Попова, В.В. Пахучий // ArcReview. – 2005. – № 3. – С. 11.
2. Исследование влияния осушения на рост сосны с использованием ГИС и ДДЗ / Д.А. Шевелев // Сб. материалов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава Сыктывкарского лесного института по итогам НИР в 2013 г. – Сыктывкар: Сыктывкарский лесной институт, 2014. – С. 283–286.
3. Пахучий, В.В. Гидролесомелиоративное районирование Коми АССР / В.В. Пахучий, С.А. Созин, А.П. Урнышев // География и природные ресурсы. – 1990. – № 4. – С. 147–149.
4. Пахучий, В.В. Гидролесомелиоративное районирование Севера европейской части России / В.В. Пахучий // География и природные ресурсы. – 1996. – № 2. – С. 85–90.
5. Черепанов, А.С. Технология выявления медленных изменений в лесах по мультиспектральным космическим снимкам (на примере вымокания лесов) / А.С. Черепанов // Геоматика (Geomatics). – 2009. – № 3(4). – С. 66–75.
6. Пахучий, В.В. Влияние зольности торфа и глубины почвенно-грунтовых вод на рост сосновых древостоев на осушенных мелкозалежных торфяниках / В.В. Пахучий // Изв. вузов «Лесной журнал». – № 1. – 1987. – С. 13–15.
7. Пахучий, В.В. Оптимизация параметров осушительных систем на слабоотторфованных лесных землях / В.В. Пахучий // Изв. вузов «Лесной журнал». – № 1. – 1991. – С. 118–120.
8. Чиндяев, А.С. Трансформация торфяной залежи и древесного яруса еловых биогеоценозов под влиянием 30-летнего периода осушения // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2008. – № 3 (60). – С. 94–98.
9. Бобкова, К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского северо-востока / К.С. Бобкова. – Л.: Наука, 1987. – 156 с.
10. Древесные ресурсы / К.С. Бобкова, П.А. Перчаткин, В.Ф. Свойкин // Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми (Дизайн. Информация. Картография). – М., 2000. – С. 331–368.

USING VEGETATIVE INDEXES FOR THE FOREST DRAINAGE RESEARCH

Pakhuchiy V.V., Prof. SPbFTU, Dr. Sci. (Agriculture)⁽¹⁾; **Pakhuchaya L.M.**, Assos. Prof. SPbFTU⁽¹⁾; **Shevelev D.A.**, pg. SPbFTU⁽¹⁾

pakhutchy@rambler.ru, pakhutchaya@rambler.ru, d-shevelev@agiks.ru

⁽¹⁾ Syktyvkar Forest Institute (branch) of Saint-Petersburg Forest Technical University of S.M. Kirov, 167982 Syktyvkar, GSP-1, Lenina street, 39

The methods of remote boring are increasingly used in silvicultural, ecological and forest inventory studies. The results of the research in the stands on the objects of forest drainage in the Kortkerossky forest area of the Komi Republic, the construction of a drainage network on which was made in 1976, are given. The possibility of application of the data on remote boring and geoinformation technologies at an assessment of drainage influence on the growth of the stands is considered. It is recommended to use various objects (in area and form) for the research: sample plots, forest massifs in compartments (polygons) and narrow transects. It is offered to use vegetative indexes, including NDVI – the normalized differential index of vegetation widely, during forest drainage research. The calculation of NDVI is made using two most stable regions of the spectral curve of the reflection of the plants, and thus high photosynthetic activity, associated with more productive plant communities, leads to a less reflection in the red region of the spectrum and a larger reflection in the infrared region of the spectrum. It has been found that the tightness of the link between NDVI and the removal of plots or transects from canals or degree of sewage within the boundaries of the forest compartment is higher when using sample plots and transects and lower for the samples of polygons. Regardless of the type of experimental objects (plots, transects, polygons) in the middle taiga subzone of the Komi Republic on the sites of forest in the watershed areas, the NDVI is greater at the sites with a greater degree of sanitation and near drainage channels.

Keywords: the Komi Republic, forest drainage, vegetative indexes, NDVI.

References

1. Serov A.V. Popova O.I. Pakhuchiy V.V. *Opyt opredeleniya sostava nasazhdeniy* [Experience determine the composition of stands] ArcReview. 2005, № 3, p. 11.
2. Shevelev D.A. *Issledovanie vliyaniya osusheniya na rost sosny s ispol'zovaniem GIS i DDZ* [Investigation of the effect of drainage on the growth of pine using GIS and remote sensing] Sb. materialov nauchno-prakticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava Syktyvkarskogo lesnogo instituta po itogam NIR v 2013 g. [Coll. Proceedings of the Conference of the faculty of Syktyvkar Forest Institute on the results of research in 2013]. Syktyvkar: Syktyvkar forest institute, 2014, pp. 283-286.
3. Pakhuchiy V.V. Sozin S.A. Urnyshev A.P. *Gidrolesomeliativnoe rayonirovanie Komi ASSR* [Forest drainage zoning of the Komi ASSR] Geografiya i prirodnye resursy [Geography and natural resources]. 1990, № 4, pp. 147-149.
4. Pakhuchiy V.V. *Gidrolesomeliativnoe rayonirovanie Severa Evropeyskoy chasti Rossii* [Forest drainage zoning of the North European part of Russia] Geografiya i prirodnye resursy [Geography and natural resources]. 1996, № 2, pp.85-90.
5. Cherepanov A.S. *Tekhnologiya vyyavleniya medlennykh izmeneniy v lesakh po mul'tispektral'nym kosmicheskim snimkam (na primere vymokaniya lesov)* [Technology detect slow changes in the forests on multispectral satellite images (as example of waterlogging forests)] Geomatika [Geomatics]. 2009, № 3(4), pp. 66-75.
6. Pakhuchiy V.V. *Vliyanie zol'nosti torfa i glubiny pochvenno-gruntovykh vod na rost sosnovykh drevostoev na osushennykh melkozaleznykh torfyanikakh* [Effect of peat ash content and depth of groundwater on the growth of pine stands on drained shallow peatlands] Izv. vuzov Lesnoy zhurnal [News of HEINs Forest magazine]. 1987, № 1, pp. 13-15.
7. Pakhuchiy V.V. *Optimizatsiya parametrov osushitel'nykh sistem na slabootorfovannykh lesnykh zemlyakh* [Optimization of parameters of drainage systems on the shallow peat forest lands] Izv. vuzov Lesnoy zhurnal [News of HEINS Forest magazine]. 1991, № 1, pp. 118-120.
8. Chindyaev A.S. *Transformatsiya torfyanoy zalezhi i drevesnogo yarusy elovykh biogeotsenozov pod vliyaniem 30-letnego perioda osusheniya* [Transformation of peat deposits and spruce tree layer of biogeocenosis under the influence of a 30-year period of drainage] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2008, № 3 (60), pp. 94-98.
9. Bobkova K.S. *Biologicheskaya produktivnost' khvoynykh lesov Evropeyskogo Severo-Vostoka* [Biological productivity of coniferous forests of the European North-East]. Leningrad: Nauka, 1987. 156 p.
10. Bobkova K.S. Perchatkin P.A. Svoikin V.F. *Drevesnye resursy. Lesnoe khozyaystvo i lesnye resursy Respubliki Komi* [Wood resources / Forestry and forest resources of the Komi Republic]. Dizayn. Informatsiya. Kartografiya [Design. Information. Kartografiya]. Moscow: 2000, pp. 331-368.