

DOI 10.31509/2658-607X-2018-1-1-1-33

УДК 528.94+004.6+630\*160.2

## КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

© 2018 г.

С.В. Князева, С.П. Эйдлинка

*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН**Россия, 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, стр. 14*E-mail: [knsvetlagmailcom](mailto:knsvetlagmailcom)

Поступила в редакцию 20.11.2018 г.

В статье представлен анализ пространственной вариабельности и временной динамики показателей состояния древесных растений Северо-западных регионов России за период 2008 – 2010 гг. на основе регулярной сети наземного мониторинга, организованного по международной программе ICP Forests. В состав показателей для деревьев преобладающих пород на пунктах постоянного наблюдения (ППН) входят: дефолиация, дехромация, категория состояния, доля повреждений. Оценка динамики показателей дана на основе методов геоинформационного картографирования и пространственного анализа с учетом ландшафтной приуроченности ППН и антропогенного воздействия. Всего проанализировано 710 ППН в шести регионах России: Ленинградской, Псковской, Новгородской, Калининградской, Мурманской областях и Республике Карелия. Наиболее информативными (чувствительными к основным видам негативного воздействия), по результатам проведенного исследования, являются такие индикаторы, как степень дефолиации и доля поврежденных деревьев. Древесные растения с высоким уровнем дефолиации отмечены в хвойных лесах, формирующихся на озерно-ледниковых ландшафтах низменных платформенных равнин и на ландшафтах возвышенных платформенных равнин (докембрийские щиты и кряжи с ледниковой обработкой) в Республике Карелия и Ленинградской области (Карельский перешеек). Доля поврежденных деревьев увеличилась с 23% в 2008 г. до 39 % в 2010 г. Максимальные значения этого показателя (свыше 80%) за весь период наблюдений отмечены в 4-х регионах: Республики Карелии, Ленинградской (преимущественно на Карельском перешейке), Мурманской и Калининградской областях. Встречаемость наиболее опасных биотических причин повреждений деревьев высока в Ленинградской области и Республики Карелия. Доля деревьев, пораженных болезнями, выше в северотаежных лесах (30%), по сравнению со среднетаежными (24%) и южнотаежными (19%). В наибольшей степени повреждения выражены на ППН, приуроченных к песчаным ландшафтам и на докембрийских щитах и кряжах ландшафтов возвышенных платформенных равнин. В целом, по результатам картографического анализа данных мониторинга за период с 2008 г. по 2010 г. можно выделить Карельский перешеек (Ленинградская область), на территории которого среднетаежные леса характеризуются стабильно самыми худшими средними значениями показателей состояния древесных растений на всей сети ICP Forests.

**Ключевые слова:** состояние древесных растений, регулярная сеть, пункты постоянных наблюдений, оценка состояния крон, преобладающие породы, повреждения и болезни деревьев, карты динамики показателей

Основная цель организации наземного мониторинга лесов – системный периодический сбор данных о параметрах состояния, степени и причинах повреждений лесов для последующего анализа, составления прогнозов, принятия решений и разработки мероприятий по поддержанию продуктивности лесов и рационального использования лесных ресурсов. Ведение мониторинга на основе регулярной сети широко используется в системе национальной инвентаризации лесов (НИЛ) в ряде стран, большая часть площади которых покрыта лесами, например, в Канаде, Швеции и Финляндии (Powell et al., 1994; Филипчук и др., 1995; Tomppo, 2006; Швиденко, 2007; Tomppo et al., 2011; Жирин, Лукина, 2017). Структура проектирования сетей НИЛ в разных странах различна, однако, выбор для организации многократных наблюдений регулярной сетки в сочетании со стратификацией (районированием) территории позволяет достичь оптимального соотношения затрат и эффективности (надежности) полученных результатов (Kangas et al., 2006). Регулярная сеть обеспечивает пространственную однородность сбора данных и, таким образом, возможность формирования случайных выборок, которые дают объективную характеристику для всей территории наблюдения при соблюдении условий репрезентативности (оптимальной плотности сети для данной территории) (Животовский, 1991). Это наиболее простой и понятный способ организации мониторинга с возможностью выбора размеров ячеек сети в зависимости от площади территории и пространственного уровня системы наблюдений. НИЛ в Канаде основана на системе пробных площадей (ПП), размещенных в узлах 4 км единой национальной сети наземных наблюдений, покрывающей всю территории страны. Стратификация выборочных точек наблюдений проводится по экологическим зонам с условием обеспечения оптимальной густоты данных (в среднем она составляет 20 x 20 км) для каждой пространственной единицы НИЛ, в качестве которой обычно используется административное подразделение (провинция) страны (Wulder et al., 2003; Gillis et al., 2005). В основе НИЛ Швеции лежит систематическая выборка в узлах регулярной сети с расстоянием от 3 до 10 км, меняющемся в зависимости от региональных особенностей страны. Одна из самых масштабных, охватывающих 41 страну Европы и Северной Америки, регулярных биоиндикаторных сетей сформирована в системе организации мониторинга состояния лесов по программе ICP Forests. Основой международной сети считается сеть с размерами ячеек 16 x 16 км, что соответствует на местности площади, равной 25600 га. В узлах сети расположены пункты постоянных наблюдений (ППН). В зависимости от региональных условий, могут быть спроектированы другие параметры сети 8 x 8 км, 4 x 4 км, 2 x 2 км, 1 x 1 км, а для больших лесных территорий – 32 x 32 км, 64 x 64 км (Методические рекомендации..., 2009).

Программа ICP Forests – Международная программа по оценке и мониторингу влияния воздушного загрязнения на леса была учреждена в 1985 Европейской Экономической Комиссией Объединенных Наций (UNECE) в рамках Конвенции по трансграничному воздушному загрязнению (CLRTAP). Результаты мониторинга важны для оценки влияния воздушного загрязнения атмосферы и других негативных техногенных процессов, оказывающих воздействие на состояние и биоразнообразие лесов, параметров циклов углерода в лесах. Первые работы по программе ICP Forests начали проводить еще на территории СССР с 1987 г. в республиках Прибалтики, затем в 1990-е гг. они были продолжены в Ленинградской области (Бахмет и др., 2011). Однако только в 2007 – 2008 гг. года происходит создание регулярной сети мониторинга на территории шести северо-западных регионов России. Начиная с 2008 г. мониторинг лесов по программе ICP Forests осуществляется на территориях Ленинградской, Псковской, Новгородской, Калининградской, Мурманской областях и Республике Карелия. На территории Мурманской области и Республики Карелия сформирована регулярная, рассчитанная по географическим координатам, сеть с ячейками 32 x 32 км, а для остальных регионов – 16x16 км. Созданная регулярная сеть мониторинга, по мнению ряда ученых, может в перспективе служить каркасом и научной инфраструктурой для организации комплексных исследований биоразнообразия регионов, а также государственной инвентаризации лесов (Алексеев и др., 2007, Бахмет и др., 2011, Князева и др., 2013).

Наземный мониторинг организован на двух уровнях: первый включает в себя оценку состояния крон древесных растений, состояния почв, питательного режима древесных растений и биоразнообразия растений. Оценка состояния древесных пород проводится на основе таких показателей как степень дефолиации крон, степень обесцвечивания (дехромации), категория состояния деревьев, повреждения и причины (насекомые-вредители, болезни и др.), а также анализ состава фотосинтезирующих органов древесных растений. Почвы характеризуются на основе морфологического описания, механического состава, уровня кислотности, содержания химических элементов. Оценка биоразнообразия растительности проводится на основе информации об их видовом составе и структуре. Мониторинг ICP Forests первого уровня в России организован на 710 ППН. Периодичность наблюдений предполагает ежегодное измерение дефолиации, дехромации (обесцвечивание кроны), категории состояния, повреждений деревьев; 1 раз в 5 лет – определение показателей биоразнообразия растительности, 1 раз в 10 лет – оценку питательного режима почв и древесных растений. На втором уровне мониторинга дополнительно проводится сбор и анализ образцов атмосферных выпадений и почвенных вод, в которых определяются уровень кислотности и концентрации химических элементов.

С 2006 года Национальным координационным центром ICP Forests в РФ является Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (ЦЭПЛ РАН). В Центре организована база данных под управлением СУБД MySQL, позволяющая обеспечить многопользовательский доступ к данным мониторинга ICP Forests. Для представления данных мониторинга в картографической форме используется профессиональный ГИС-пакет ArcGIS.

Целью статьи является представление первых результатов анализа состояния древесных растений на основе карт динамики показателей мониторинга ICP Forests за трехлетний период (2008–2010 гг.). Картографические методы позволяют оценить пространственные тренды изменения состояния древесных растений и выявить причинно-следственные связи между показателями мониторинга и характеристиками ландшафта, источниками антропогенного воздействия. В основе данной работы – отчеты ЦЭПЛ РАН по теме «Разработка научно-обоснованных предложений по критериям и индикаторам ослабления лесов на основе результатов лесопатологического мониторинга, выполненного по международным стандартам, для оценки исполнения переданных полномочий в области лесных отношений» ГК Р-9К-11/3 (Отчет..., 2011, Отчет..., 2012).

#### ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ МОНИТОРИНГА

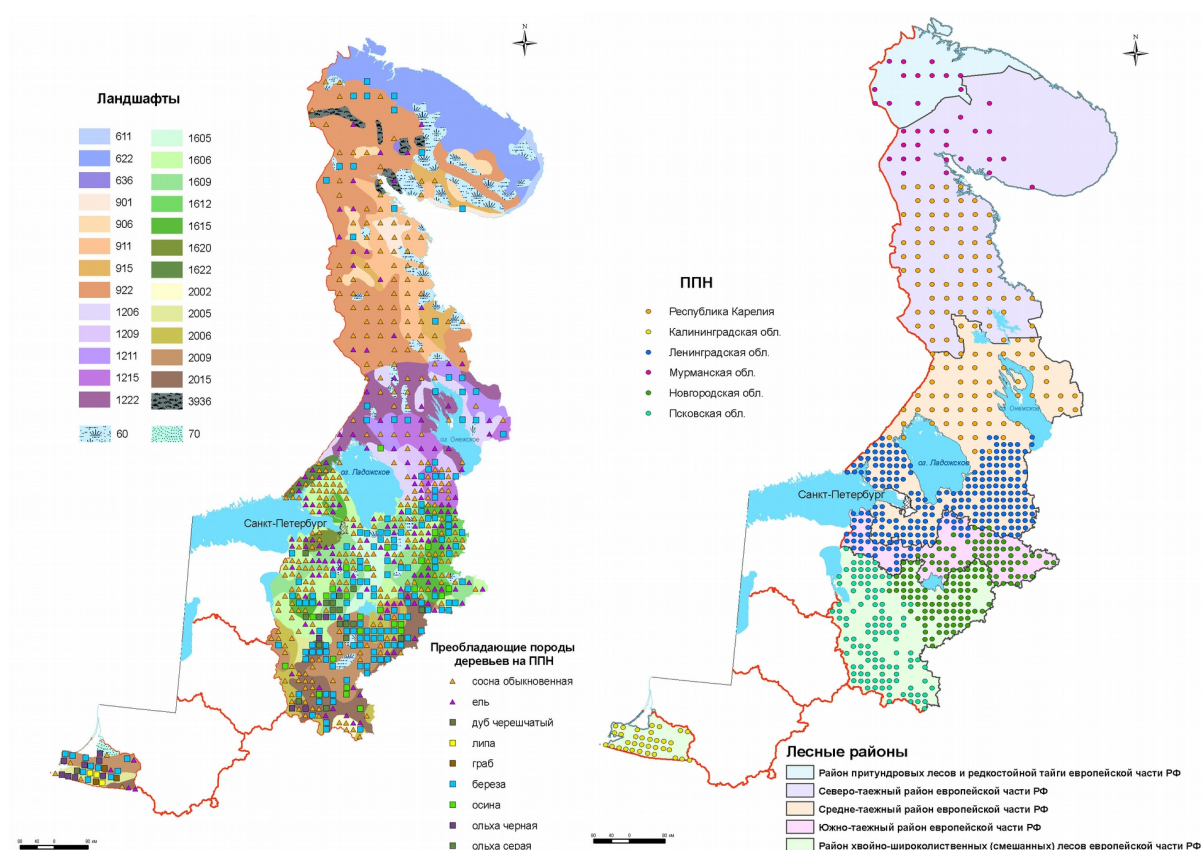
На территории северо-западной части РФ выделяются три большие лесные зоны: притундровые леса и редкостойная тайга, таежная зона (северная, средняя и южная тайга), хвойно-широколиственные леса. Среди ландшафтов преобладают низменные и возвышенные платформенные равнины. Самые возвышенные группы ландшафтов встречаются в Мурманской области (Хибинские горы) и на севере Карелии, самые низменные ландшафты – в Калининградской области. Ландшафтная карта с преобладающими породами деревьев на ППН и лесные районы с размещением сети ППН по регионам представлены на рисунках 1 и 2. Легенда к ландшафтной карте (автор А.Г. Исаченко, Экологический атлас России, 2002) приведена в таблице 1.

Северотаежные леса занимают 23% территории Мурманской области, лесотундровые березовые редколесья – около 50%. Леса произрастают на возвышенных цокольных равнинах, а также низменных аккумулятивных озерно-ледниковых и озерных равнинах. В южной части Мурманской области преобладает холмисто-моренный ландшафт. Значительную площадь в западной и центральной частях области занимают складчато-глыбовые и глыбовые среднегорные ландшафты, характеризующиеся четко выраженной



структурой высотной ландшафтной дифференциации. На территории области распространены болота различного типа.

Большую часть территории Республики Карелия занимают грядово-холмистые озерные равнины, высоты которых понижаются с запада на восток. В рельефе широко распространены моренные волнистые и озерно-ледниковые песчаные равнины, часто встречаются протяженные выходы кристаллических пород. Для южной части республики характерно чередование моренных заболоченных равнин с грядами и холмами. Граница между северо- и среднетаежными лесами проходит приблизительно на уровне Сегозера. В северной тайге господствуют сосновые леса, в средней – сосновые и еловые. Сосновые сфагновые леса растут в основном, на бедных почвах заболоченных равнин и болот, сосняки зеленомошники – на возвышенных участках равнин. Среди еловых лесов доминирует зеленомошные ельники (иногда с примесью березы и осины), произрастающие на более богатых почвах.



**Рисунок 1.** Преобладающие породы деревьев на ППН и типы ландшафтов

**Рисунок 2.** Распределение ППН по регионам северо-запада РФ с границами лесных районов

**Таблица 1.** Легенда к ландшафтной карте А.Г. Исаченко (Экологический атлас России, 2002)

<b>Ландшафты</b>	
<b>Субарктические лесотундровые восточноевропейские</b>	
611 –	цокольные на кристаллических породах докембрийских щитов с ледниковой обработкой ландшафты низменных платформенных равнин
622 –	докембрийские щиты и кряжи на дислоцированных палеозойских и протерозойских породах с ледниковой обработкой ландшафтов возвышенных платформенных равнин
<b>Бореальные северотаежные восточноевропейские</b>	
901 –	аккумулятивно-морские песчаные и песчано-глинистые; аридные глинистые засоленные ландшафты низменных платформенных равнин
906 –	озерно-ледниковые песчаные ландшафты низменных платформенных равнин
911 –	цокольные на кристаллических породах докембрийских щитов с ледниковой обработкой ландшафты низменных платформенных равнин
915 –	холмисто-моренные и камовые в области позднечетвертичного оледенения ландшафты возвышенных и платформенных равнин
922 –	докембрийские щиты и кряжи на дислоцированных палеозойских и протерозойских породах с ледниковой обработкой ландшафтов возвышенных платформенных равнин
<b>Бореальные среднетаежные восточноевропейские</b>	
1206 –	озерно-ледниковые песчаные ландшафты низменных платформенных равнин
1209 –	моренные в области позднечетвертичного оледенения ландшафты низменных платформенных равнин
1211 –	цокольные на кристаллических породах докембрийских щитов с ледниковой обработкой ландшафты низменных платформенных равнин
1215 –	холмисто-моренные и камовые в области позднечетвертичного оледенения ландшафты возвышенных и платформенных равнин
1222 –	докембрийские щиты и кряжи на дислоцированных палеозойских и протерозойских породах с ледниковой обработкой ландшафтов возвышенных платформенных равнин
<b>Бореальные южнотаежные восточноевропейские</b>	
1605 –	озерно-ледниковые глинистые и суглинистые ландшафты низменных платформенных равнин
1606 –	озерно-ледниковые песчаные ландшафты низменных платформенных равнин
1609 –	моренные в области позднечетвертичного оледенения ландшафты низменных платформенных равнин
1612 –	зандровые (низменные и возвышенные) ландшафты низменных платформенных равнин
1614 –	моренные, моренно-эрозионные, ледово-морские в области среднечетвертичного оледенения, часто с покровными суглинками ландшафты возвышенных и платформенных равнин

1615 –	холмисто-моренные и камовые в области позднечетвертичного оледенения ландшафты возвышенных платформенных равнин
1620 –	карстовые плато на известняках, доломитах и гипсах возвышенных и платформенных равнин
1622 –	докембрийские щиты и кряжи на дислоцированных палеозойских и протерозойских породах с ледниковой обработкой ландшафтов возвышенных платформенных равнин
<b>Бореальные подтаежные восточноевропейские</b>	
2001 –	аккумулятивно-морские песчаные ландшафты низменных платформенных равнин
2002 –	древнеаллювиальные, озерно-аллювиальные и озерные глинистые и суглинистые ландшафты низменных платформенных равнин
2005 –	озерно-ледниковые глинистые и суглинистые ландшафты низменных платформенных равнин
2006 –	озерно-ледниковые песчаные ландшафты низменных платформенных равнин
2009 –	моренные в области позднечетвертичного оледенения ландшафты низменных платформенных равнин
2015 –	холмисто-моренные и камовые в области позднечетвертичного оледенения ландшафты возвышенных платформенных равнин
<b>Бореальные темнохвойные редколесья</b>	
3936 –	складчато-глыбовые и глыбовые на палеозойских и докембрийских структурах, пронизанных интрузиями ландшафты складчатых и глыбовых гор
<b>Гидроморфные комплексы</b>	
60 –	болота
70 –	речные долины и дельты

Территория Ленинградской области имеет равнинный характер рельефа с незначительными абсолютными высотами. Территория Карельского перешейка является частью Балтийского кристаллического щита и отличается пересечённым рельефом, многочисленными скальными выходами и большим количеством озёр. Низменности в основном расположены по берегам Финского залива и Ладожского озера, а также в долинах крупных рек. Растительность ландшафтов представлена бореальными южнотаяжными лесами, на северо-востоке области распространены среднетаежные леса. На юге происходит переход от хвойных лесов к смешанным. Леса занимают около половины площади области. Особенностью территории является ее давняя освоенность человеком и вследствие этого сильное истощение лесных ресурсов. Коренные сосновые и, особенно, еловые леса сохранились местами на северо-западе и востоке области, но, в основном, они замещены производными мелколиственными лесами и мелколесьями (берёза, осина, ольха серая). В растительном покрове области существенное место занимают болота, преимущественно верхового типа.

Территория Новгородской области представляет собой низкую плоскую озерно-ледниковую и древнеаллювиальную равнину с небольшими участками холмистого и моренного рельефа. Основными формами рельефа являются обширные зандровые заболоченные равнины. По характеру рельефа Новгородская область делится на равнинную западную и возвышенную восточную часть. На севере Новгородской области произрастают южнотаежные леса, в центральной и южной частях – преимущественно подтаежные хвойно-широколиственные леса. В смешанных лесах южной тайги преобладают береза и сосна. Значительные пространства хвойно-широколиственных лесов, представлены, в основном, вторичными осиновыми и березовыми лесами с участием широколиственных пород – липы, клена, дуба.

Рельеф Псковской области сформирован Валдайским ледниковым покровом и состоит из различных по площади и происхождению форм рельефа. Наиболее крупными формами рельефа являются низменности и возвышенности. Господствующее положение в рельефе занимают низменности, представляет собой систему пологоволнистых моренных и плосковолнистых озерно-ледниковых равнин. Псковская область располагается в двух подзонах лесной зоны: южнотаежной и хвойно-широколиственной. В южнотаёжной подзоне преобладают зеленомошные травяно-кустарничковые леса и производные от них мелколиственные леса. Сосновые леса составляют значительную площадь лесов области и занимают песчаные и супесчаные почвы зандровых равнин, камов, озов. Еловые леса сохранились мало и встречаются главным образом на севере области. Мелколиственные леса из березы, осины, черной и серой ольхи имеют вторичное происхождение и возникли на месте истребленных еловых и сосновых лесов. В хвойно-широколиственной подзоне растут дубравно-травяные леса, местами с широколиственным подлеском и единичной примесью широколиственных пород в древостое.

Ландшафты Калининградской области сложились в результате деятельности последнего Валдайского оледенения и отражают закономерное чередование обширных равнинных и низменных пространств с отдельными холмисто-грядовыми возвышенностями. Северо-восточную часть области занимает озерно-ледниковая равнина, на которой возвышаются отдельные холмы. С запада к равнине почти через всю область протянулась огромной дугой холмисто-моренная гряда. На северо-востоке области располагается озерно-ледниковая низменность, отдельные участки которой находятся ниже уровня Балтийского моря, что также вызывает ее заболачивание. Растительный покров области относится к бореальным подтаежным ландшафтам и представлен смешанными хвойно-широколиственными лесами. Основные лесообразующие породы: ель, сосна, дуб, клен, береза. Ель наиболее широко распространена в лесных массивах восточных районов области

и занимает 25% от площади лесов. Сосновые леса занимают в области примерно 17% лесопокрытой площади. Отдельными небольшими массивами в области встречаются дубравы, где растет дуб европейский, встречаются ясеневые леса и липняки. Есть незначительные участки буковых лесов. До четверти площадей лесных массивов занимают березняки. Пониженные участки почвы с длительным избыточным увлажнением заняты черной ольхой.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Наземные обследования древесных растений проводились визуальными и инструментальными способами по стандартной методике мониторинга ICP Forests на регулярной сети мониторинга. В узлах сети расположены ППН, представляющие собой кластеры из 4-х точек учёта, расположенных на расстоянии 25 м от центра ППН по всем направлениям. На каждой точке учёта выбирается минимум 6 деревьев преобладающей породы (24 дерева на ППН) и деревья других пород, находящихся на расстоянии ближе 6-го дерева к центру точки учета. Таким образом, на одной ППН может быть до 50 обследованных деревьев (Методические рекомендации..., 2009). В таблице 2 представлено количество ППН по регионам (в скобках указано количество обследованных деревьев), на которых были проведены обследования за трехлетний период. Поскольку на начальном этапе мониторинга каждый год закладывали новые ППН (и не на всех существующих ППН велись ежегодные наблюдения), соответственно менялось их количество.

**Таблица 2.** Количество ППН, на которых были проведены наземные обследования за период 2008-2010 гг.

Регионы	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Мурманская область	0	35 (985)	35 (991)
Республика Карелия	129 (4093)	47 (1582)	48 (1609)
Ленинградская область	155 (4473)	145 (4246)	97 (3025)
Новгородская область	126 (3658)	36 (1065)	45 (1328)
Псковская область	68 (1994)	68 (2019)	29 (913)
Калининградская область	34 (1144)	34 (1120)	34 (1126)
<b>Всего</b>	<b>512 (15362)</b>	<b>365 (11017)</b>	<b>288 (8992)</b>

Для оценки динамики показателей древесных пород на сети мониторинга создана атрибутивная база данных по состоянию крон и повреждениям древесных растений в среде СУБД MySQL. MySQL представляет собой высокопроизводительную многопользовательскую СУБД, построенную с использованием архитектуры клиент/сервер, и соответственно, позволяет разделить ресурсы и обеспечить доступ к серверу базы данных по сети. Для организации работы СУБД MySQL организован сервер, позволяющий работать с данными, как по локальной сети, так и по Интернету.

В соответствие со структурой данных были разработаны таблицы по состоянию лесов и факторам их формирования. Реляционная модель организации данных, на которой построена база данных информационной системы, технически представляет собой набор таблиц, связанных между собой по ключевым полям. При этом одна таблица соответствует какому-то определенному классу объектов (ППН, модельные деревья, древесные породы) или параметру (перечень категорий защитности, возраст повреждений). База состоит из пятнадцати справочников и одиннадцати рабочих таблиц. Основу базы составляют три рабочие таблицы – описания ППН, модельные деревья и состояние крон. В первую таблицу заносятся все параметры, относящиеся к ППН и лесоустроительному выделу, в котором данный пункт заложен, в двух других постоянные характеристики дерева (порода, номер) и ежегодно определяемые параметры (Эйдлина, Князева, 2014).

Показатели мониторинга 1-го уровня, предполагающие ежегодное наблюдение модельных деревьев на ППН включают две группы: оценка состояния крон и описание симптомов и повреждений. К оценке состояния крон относятся параметры дефолиации, дехромации и категория санитарного состояния.

*Дефолиация* – преждевременное опадание листьев или хвои деревьев под воздействием неблагоприятных факторов внешней среды. Дефолиацию оценивают в процентах относительно полностью облиственного дерева. Выделяют следующие классы с диапазоном в 5% (0–5, 5.1–10% и т.д.).

*Дехромация* (обесцвечивание) – изменение окраски листьев или хвои под влиянием воздействий антропогенного или природного происхождения. Дехромацию оценивают в значениях от 0 до 100% с диапазоном в 5%.

*Категории санитарного состояния* – интегральная балльная оценка состояния деревьев по комплексу визуальных признаков. При отборе модельных деревьев для ежегодного обследования на ППН выбирались только деревья 1–3 категорий санитарного состояния: 1 – без признаков ослабления, 2 – ослабленные, 3 – сильно ослабленные.

Для описания симптомов и повреждений деревьев на ППН оцениваются следующие параметры: поврежденная часть дерева, симптом, характеристика симптома, возраст симптома/повреждения, причина и степень повреждения дерева.

Рабочие таблицы связаны между собой по трем ключевым полям – уникальный составной код ППН, идентификатор модельного дерева и идентификатор описания модельного дерева. Справочники с рабочими таблицами связаны по ключевым полям с уникальными кодами. В СУБД производится формирование выборок при помощи соответствующих запросов и конвертирование данных в форматы для последующего картографического представления пространственных данных в среде ГИС.

Для картографической оценки изменения состояния древесных растений составлены электронные карты, отображающие показатели мониторинга ICP Forests для каждого года наблюдений и карты динамики показателей за трехлетний период. Карты созданы на основе векторного точечного слоя с координатами ППН и атрибутивных таблиц со значениями показателей, полученными из БД MySQL 5.2 ICP Forests. Источником пространственной информации для создания векторного ландшафтного слоя послужила карта «Ландшафты» (автор А.Г. Исаченко) м-ба 1: 7000000 (Экологический атлас России, 2002). В процессе картографирования применены методы пространственного анализа, включающие изучение размещения, связей, соседства и других пространственных отношений явлений и объектов. Средствами СУБД рассчитаны средние значения характеристик преобладающих пород деревьев для каждого ППН. С использованием уникального кода, включающего код региона и порядковый номер ППН, происходило совмещение (связывание) атрибутивных таблиц и векторного слоя с координатами ППН (Князева, Эйшлина, 2013). При помощи процедур SQL-запросов с применением условий соответствия объектов выбранным атрибутивным параметрам и пространственным критериям программными, средствами ArcGis составлены серии тематических карт показателей мониторинга: состояние крон преобладающих пород деревьев на ППН (дефолиация, дехромация, категория санитарного состояния), долю поврежденных деревьев преобладающих пород на ППН, встречаемость наиболее опасных причин повреждений деревьев преобладающих пород на ППН. Карты составлены для 6-ти субъектов РФ (Республика Карелия, Мурманская, Ленинградская, Новгородская Псковская, и Калининградская области) для каждого года наблюдений.

Для оценки временных и пространственных изменений характеристик состояния крон преобладающих пород деревьев на ППН составлен набор карт динамики показателей для каждого временного периода 2008-2009 гг., 2009-2010 гг. и 2008-2010 гг.: динамика средних значений дефолиации; динамика средних значений дехромации; динамика средних значений категорий санитарного состояния. Карты составлены для 190 ППН, расположенных в 5 субъектах РФ: Республика Карелия, Ленинградская, Калининградская, Псковская и Новгородская области (ППН в Мурманской области заложены только в 2009 году). Для расчета средних значений показателей по годам взяты только те деревья преобладающих пород, состояние которых оценивалось каждый год. Таким образом, достоверность анализа динамики средних значений показателей мониторинга ICP Forests по картам обеспечивается соблюдением условия использования одних и тех же уникальных идентификаторов ППН и деревьев на этих ППН для всех временных периодов. При анализе динамики показателей изменением значений дефолиации до  $\pm 5\%$  и дехромации до  $\pm 10\%$  можно пренебречь, т.к. колебание значений в этих диапазонах сопоставимо с точностью определения показателей.

Для картографического отображения характеристик ППН, имеющих точечную локализацию, выбран способ значков. Значки созданы при помощи библиотек символьных условных знаков программы ArcGis (Третьяченко, 2009). Качественные показатели, такие, как преобладающая порода деревьев, отображены на картах значками разной формы и цвета: форма значка указывает на принадлежность к группе хвойных или лиственных пород, а цвет значка определяет породу (вид) дерева. Количественные показатели (возраст, дефолиация, дехромация) представлены размерными значками одинаковой формы, пропорциональными диапазонам значений конкретного показателя. Диапазоны значений выбраны в соответствии с методикой оценки этих показателей в программе ICP Forests. При составлении аналитических карт количественных характеристик использованы методы естественных границ и равных интервалов. Наглядность картографического отображения достигается также цветовыми средствами – с возрастанием значений количественных показателей увеличивается не только размер значка, но и насыщенность цвета. Диапазоны и соответствующие им условные знаки одинаковы для однотипных показателей за разные годы и поэтому их легко оценивать по картам.

Динамика показана способом значков: размер значка отражает разницу средних значений показателя за две даты, а цвет значка – тенденцию динамики (увеличение или уменьшение) показателя от предыдущего года к следующему. Красные оттенки цвета значков указывают на негативные тенденции показателей – увеличение по сравнению с предыдущим годом значений дефолиации и дехромации, ухудшение категории санитарного состояния деревьев. Для количественных показателей динамики использована прогрессивная шкала с увеличением диапазона значений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выявление временной динамики состояния древесных растений по регионам и пространственных взаимосвязей с ландшафтными условиями произрастания лесов и антропогенным воздействием проведено при помощи анализа серий разновременных карт показателей мониторинга и карт динамики.

Высокая степень дефолиации крон отмечается у деревьев сосны, формирующей северотаежные леса на аккумулятивно – морских песчаных ландшафтах низменных платформенных равнин (17%), среднетаежные леса на докембрийских щитах и кряжах возвышенных платформенных равнин (15%) и южнотаежные леса на озерно-ледниковых песчаных и моренных ландшафтах низменных платформенных равнин (по 15%). Для ели и березы следует отметить высокую степень дефолиации (16% и 15% соответственно) в среднетаежных лесах на моренных ландшафтах низменных платформенных равнин и в



южнотаежных лесах на карстовых плато на известняках, доломитах и гипсах возвышенных платформенных равнин (16% и 21% соответственно).

Анализ динамики средних оценок дехромации преобладающих пород деревьев на ППН показывает, что дехромация в среднем не превышает уровень 5%. Наиболее часто встречающиеся классы дехромации – 0–5 % и 5–10 %. Степень дехромации ели и сосны варьировала значительно меньше, чем дефолиация, в среднем редко достигая 7–9%. Стоит отметить возрастание степени дехромации сосны, произрастающей в подтаежных лесах на озерно-ледниковых глинистых и суглинистых ландшафтах низменных платформенных равнин, в 2009 до 16% и в 2010 г. до 25%. Степень дехромации березы достигала 13% в северотаежных и среднетаежных лесах, формирующихся на кристаллических породах в ландшафтах низменных платформенных равнин, а также в среднетаежных лесах на холмисто-моренных и камовых ландшафтах возвышенных платформенных равнин.

Распределение деревьев основных лесообразующих пород по категориям состояния на всей сети показало, что доля здоровых деревьев на сети мониторинга варьирует от 75% до 80%, ослабленных – от 14 до 20%, сильно ослабленных – от 3 до 6% (Лукина и др., 2013). Доля ППН с категорией санитарного состояния деревьев «ослабленные» не превышает 22%, из них две трети представляют сосновые леса, одна треть – еловые. Число ППН с категорией санитарного состояния «сильно ослабленные» не превышает 3–4 в разные годы. Большая часть этих ППН сконцентрирована в средней тайге: ППН с преобладанием еловых древостоев приурочены к моренным ландшафтам низменных платформенных равнин, а с преобладанием сосны – к докембрийским щитам и кряжам возвышенных платформенных равнин. Для большинства ППН характерно стабильное состояние деревьев в период 2008–2010 гг. Общее количество повреждений, вызванных биотическими и абиотическими факторами, на всей сети варьировало по годам и составляло 6781 в 2008 году, 5556 – в 2009 году, 7052 – в 2010 году. Доля преобладающих пород деревьев с повреждениями составляла в среднем 35–40%. Этот показатель менялся по регионам от 12 до 40% для сосны, от 11 до 31% для ели и от 17 до 30% для березы. Основные причины повреждений – грибные болезни, насекомые, а также абиотические факторы.

Рассмотрим более детально изменение показателей состояния деревьев преобладающих пород на ППН в системе мониторинга по каждому региону.

#### *Мурманская область*

В 2008 году обследования состояния деревьев не проводились. В период с 2009 по 2010 гг. обследование по международной методике ICP Forests проведено на 35 ППН. В 2009 году на большинстве ППН (60%) средние значения дефолиации крон преобладающих пород деревьев не превышали 5% (рис. 3Б). Максимальные значения достигали 23–27% только на

двух ППН. В 2010 году число ППН с деревьями, степень дефолиации которых превышала 5%, составляет уже половину от общего количества ППН, значения дефолиации также немного увеличились, в среднем на 2–5% (рис. 3В). Однако максимальные значения дефолиации снизились до 19%. Вблизи такого крупного источника промышленных выбросов, как Мончегорский горно-обогатительный комбинат, находится только один ППН с небольшим значением дефолиации деревьев (около 10%). Преобладающие деревья на ППН представлены сосной среднего возраста 57 лет. Возможно, при закладке ППН в 2009 году деревья старших возрастов находились в плохом состоянии и, согласно методике, были исключены как объект мониторинга. Поэтому, несмотря на высокий уровень загрязнения атмосферы и почвы в окрестностях Мончегорска, показатели дефолиации древесных растений невысокие. Необходима более плотная сеть ППН в районах с концентрацией промышленных предприятий и автотранспорта, являющихся основными источниками выбросов в атмосферу, для анализа воздействия воздушного загрязнения на состояние древесных растений.

Средние значения дехромации (обесцвечивания) крон преобладающих пород деревьев на ППН области за период 2009-2010 гг. невысокие, не превышают 25 % в 2009 году и 15% в 2010 г. (рис. 5В). В 2009 году на шести ППН средние значения дехромации выше 10%, а в 2010 году из этих ППН осталось только 2. Таким образом, можно отметить тенденцию к снижению как самих максимальных средних значений дехромации, так и количества ППН с максимальными значениями дехромации.

ППН с категорией состояния древесных растений «сильно ослабленные» на территории Мурманской области отсутствуют (рис. 6А, Б). В 2009 году почти на 70% ППН области отмечены повреждения деревьев преобладающих пород (рис. 7Б). На 7 ППН число поврежденных деревьев превышает 80% от общего количества деревьев преобладающих пород. В 2010 году количество ППН, где доля поврежденных деревьев занимает более половины, увеличилась на 30 %. (рис. 7В). В целом, общее количество повреждений деревьев в 2010 году увеличилось в 1.5 раза по сравнению с предыдущим годом, количество обследованных деревьев осталось практически неизменным. Большая часть (около 25%), среди причин повреждений занимают абиотические факторы, чуть меньше (15–20%) – грибные болезни и насекомые-вредители. ППН с деревьями, поврежденными наиболее опасными болезнями (рак-серянка, корневая губка) и насекомыми (короед-типограф), на территории области в 2009 году не обнаружены, только в 2010 году на одном ППН зафиксировано заболевание деревьев раком-серянкой.

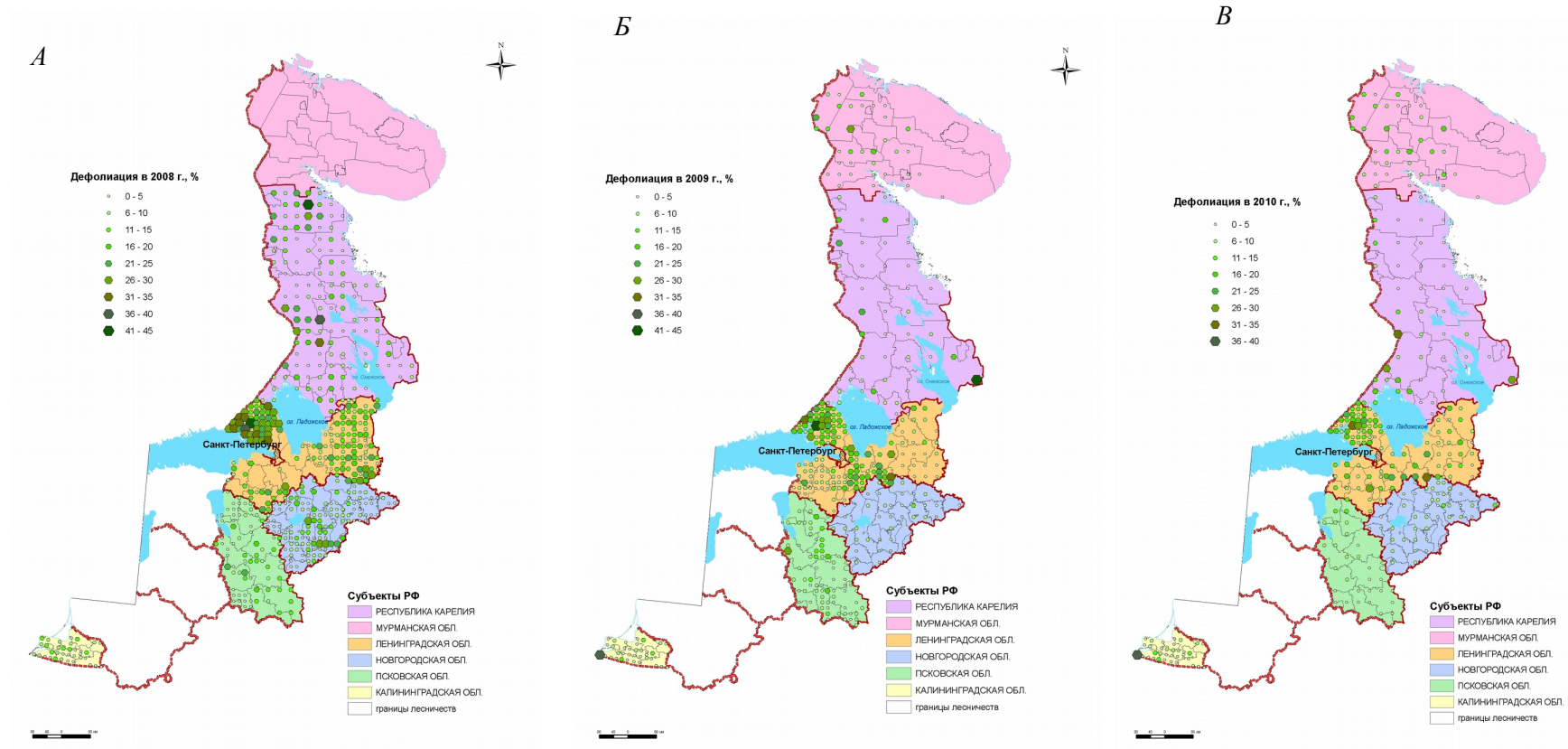
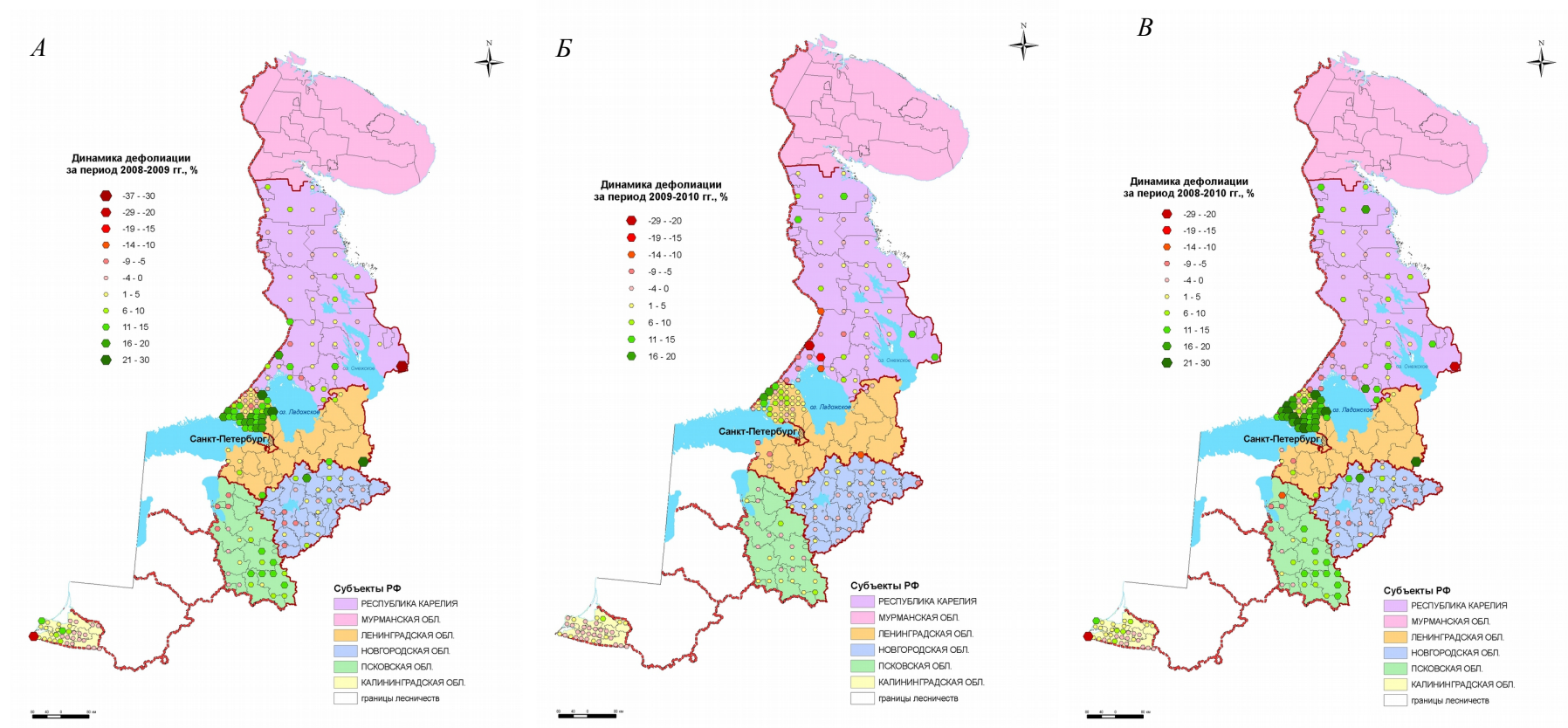
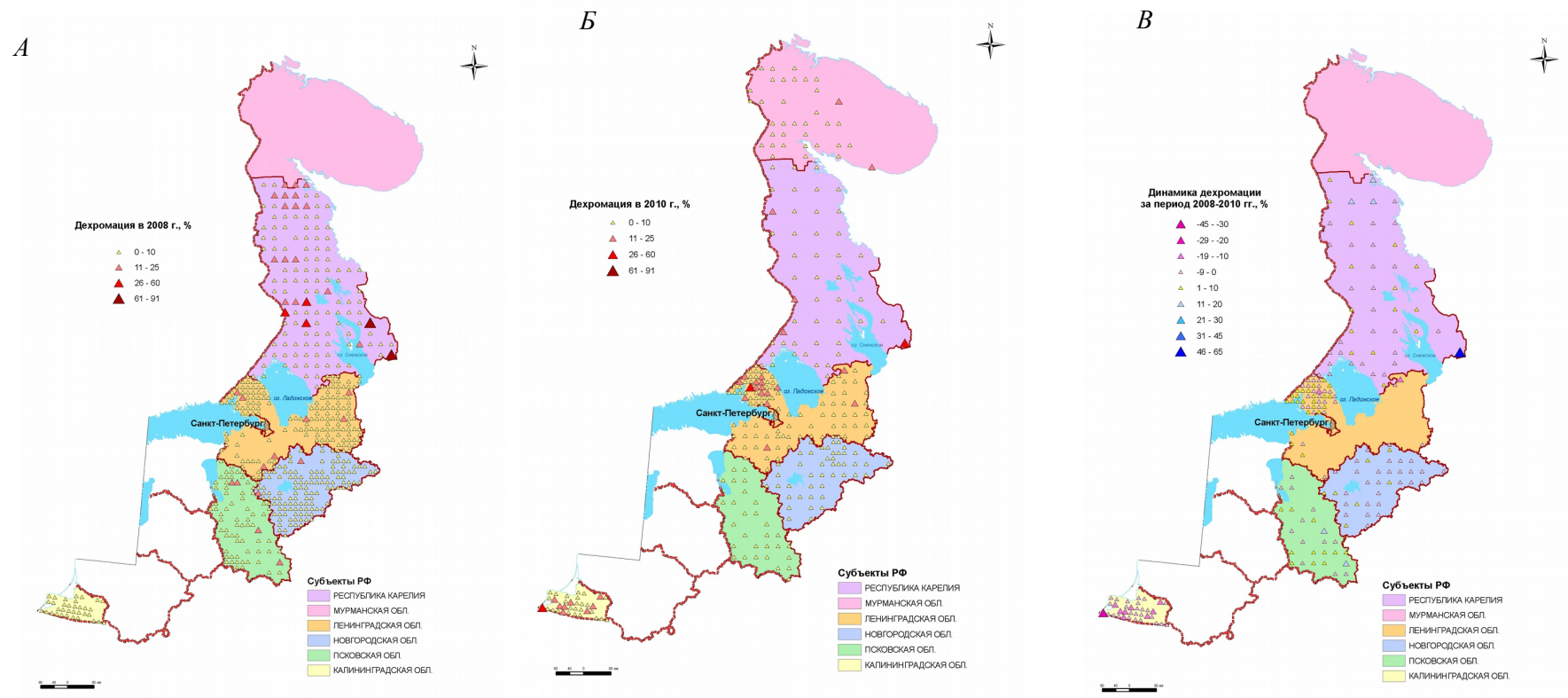


Рисунок 3. Средние значения дефолиации крон преобладающих пород деревьев на ППН: А – 2008 г., Б – 2009 г., В – 2010 г.

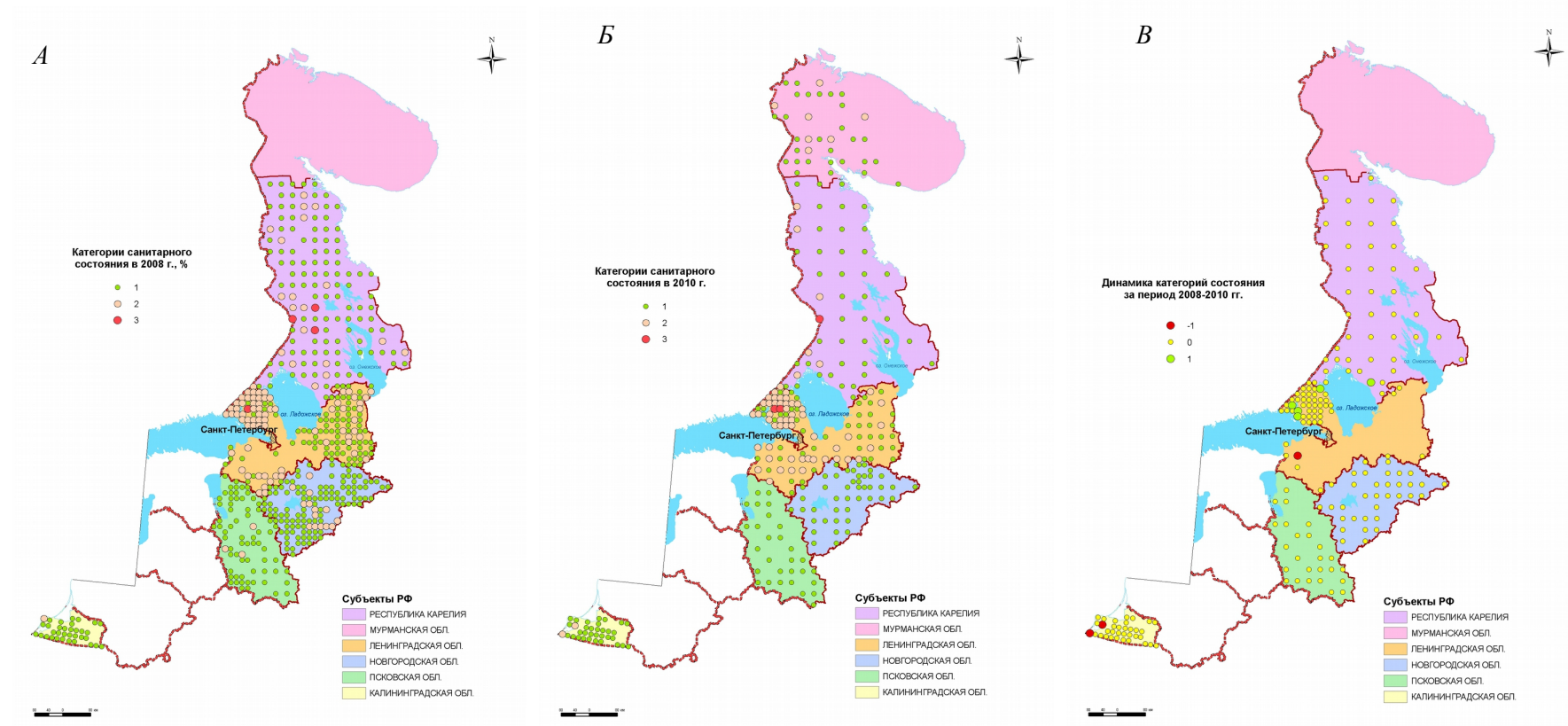


**Рисунок 4.** Динамика средних значений дефолиации крон преобладающих пород деревьев на ППН: А – 2008-2009 гг., Б – 2009-2010 гг., В – 2008-2010 гг.



**Рисунок 5.** Средние значения и динамика дехрометрии крон преобладающих пород деревьев на ППН: А – 2008 г., Б – 2010 г., В – 2008-2010 гг.





**Рисунок 6.** Средние значения и динамика категорий состояния крон преобладающих пород деревьев на ППН: А – 2008 г., Б – 2010 г., В – 2008-2010 гг.

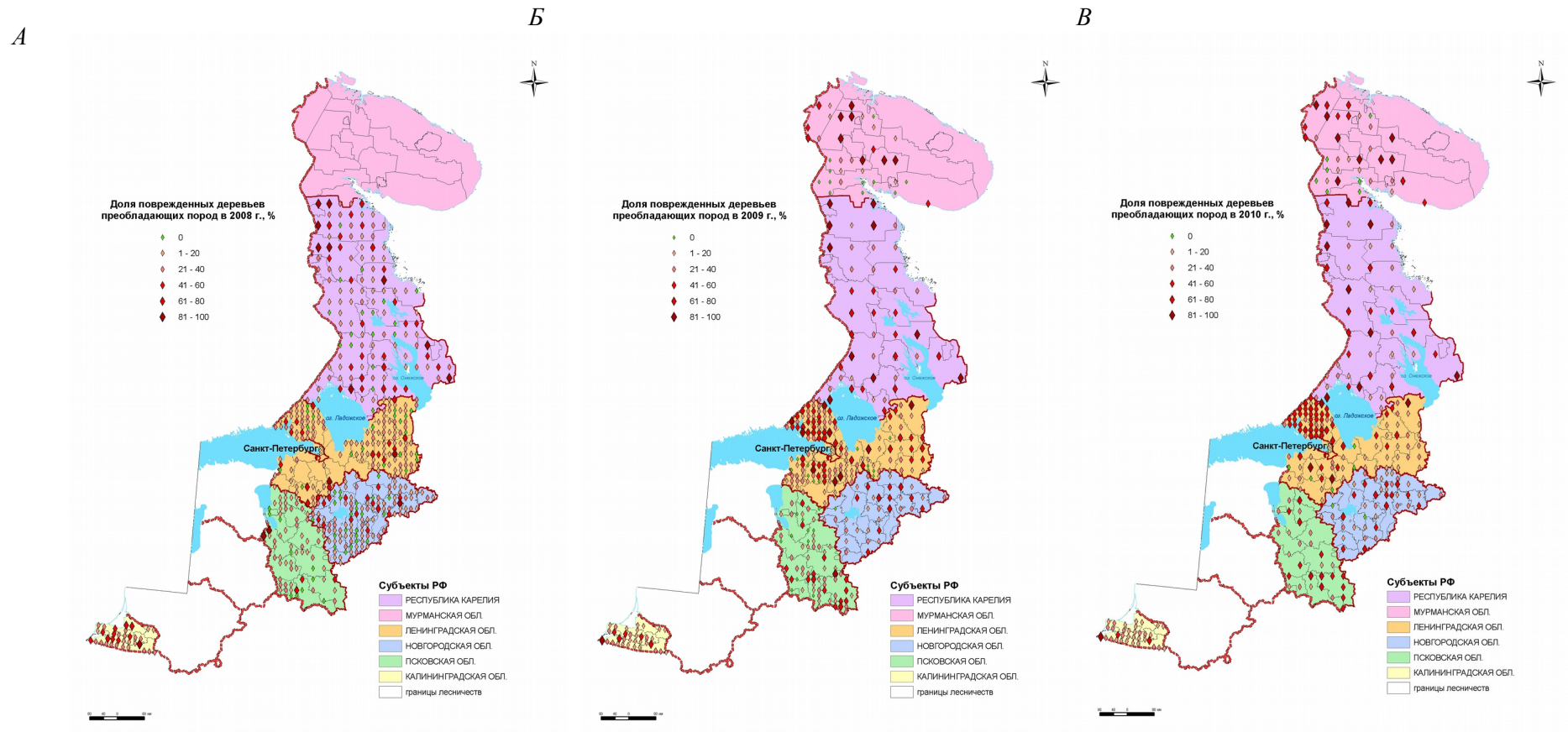


Рисунок 7. Доля поврежденных деревьев преобладающих пород на ППН: *А* – 2008 г., *Б* – 2009 г., *В* – 2010 г.

*Республика Карелия*

В 2008 году обследование проводилось на 129 ППН. На большинстве ППН средние значения дефолиации преобладающих пород деревьев не превышают 15%. Однако выделяются группы ППН на севере Карелии и в средней западной части (Муезерское и Суоярвское лесничества) с весьма высокими значениями дефолиации – от 21 до 45% (рис. 3А). На этих ППН произрастает преимущественно сосна в возрасте 120 – 180 лет. Ландшафты представлены низменными и возвышенными платформенными равнинами (докембрийские щиты и кряжи с ледниковой обработкой).

В период 2009-2010 гг. году полевые обследования проведены на 47 ППН. На ППН, где в 2008 году отмечены максимальные значения дефолиации, обследования не проводились. В 2009 году максимальные значения степени дефолиации (41%) отмечены для ППН № 558, расположенном на юго-востоке Карелии, где произрастают преимущественно березовые молодняки, а высокая степень дефолиации листвы вызвана вспышкой минирующей моли. В 2010 году значения дефолиации здесь снизились до 28%. В 2009 и 2010 годах средние значения дефолиации на подавляющем большинстве ППН республики не превышали 10% (рис. 3Б, В). В 2010 году высокие значения дефолиации (более 15%) отмечены на ППН, расположенных в юго-западной части территории региона, на которых преобладающими породами являются ель и сосна возрастом более 100 лет. Преобладающий тип ландшафта – докембрийские щиты и кряжи с ледниковой обработкой на дислоцированных палеозойских и протерозойских породах с ледниковой обработкой возвышенных платформенных равнин.

Высокие значения дехромации крон преобладающих пород деревьев (в диапазоне 15–30%) отмечены в 2008 году на тех же ППН, где наблюдались высокие значения дефолиации (рис. 5А). Анализ динамики средних значений дефолиации на ППН за три года показывает отсутствие существенных колебаний показателя на большей части территории республики. На севере Карелии в Лоухском лесничестве и на юге (Пряжинское и Олонецкое лесничества) наблюдается положительная динамика – за период с 2008 по 2010 гг. дефолиация уменьшилась в среднем на 15% (рис. 4). Изменение средних значений дехромации за период 2008-2010 гг. отмечено для ряда ППН на севере Карелии в Лоухском лесничестве: дехромация снизилась в среднем на 10–20% (рис. 5В).

В 2008 году на территории Карелии ослабленных деревьев немного, но здесь в Суоярвском и Муезерском лесничествах на западе республики расположены 3 ППН на которых произрастают сильно ослабленные деревья (рис. 6А). Это сосновые древостои со значениями дефолиации крон от 30 до 40% и дехромацией до 60%. На севере республики в Лоухском лесничестве находится группа ППН с ослабленными деревьями, среди которых ППН № 39 имеет одно из самых больших средних значений дефолиации в 2008 году – 43%



(рис. 6А). В 2009 году на территории Карелии не обнаружено ППН с категорией санитарного состояния деревьев «сильно ослабленные». Число ППН с ослабленными деревьями сократилось более чем в 2 раза по сравнению с предыдущим годом. Однако это связано не столько с улучшением санитарного состояния древесных растений, сколько с более редкой сетью обследованных ППН. В 2010 году на одном ППН № 369 санитарное состояние деревьев вновь ухудшилось (категория «сильно ослабленные»). Основные изменения категорий санитарного состояния зафиксированы на ППН, расположенных на юго-западе Карелии. Динамика показателя на этих ППН разнонаправлена: если с 2008 по 2009 годы на 4-х ППН (№ 369, 485, 538, 636) категория состояния улучшилась, то в последующий период с 2009 по 2010 гг. на ППН № 369, 485, 538 категория состояния вновь снизилась на одну градацию. Таким образом, за период 2008-2010 гг. изменения зафиксированы лишь на одном ППН (рис. 6В).

В 2008 году на 13% ППН повреждений деревьев преобладающих пород зафиксировано не было. Большая часть ППН с повреждениями более 80% деревьев сконцентрирована на северо-западе Карелии и на юго-востоке (рис. 7А). В 2009 и 2010 гг. на территории республики повреждения деревьев обнаружены на всех без исключения ППН (рис. 7Б). В 2010 году на территории республики больше всего зафиксировано повреждений деревьев, вызванных насекомыми, доля этой группы этих агентов составила 42%. По сравнению с предыдущим годом увеличилось относительное количество повреждений деревьев грибами, и уменьшилась доля повреждений из-за абиотического воздействия. В целом, общее количество повреждений относительно количества обследованных деревьев в период 2008-2010 гг. каждый год увеличивалось в 1.5 раза (2008 г. – 44%, 2009 г. – 103%, 2010 г. – 166%). Доля ППН, на которых обнаружено заболевание деревьев раком-серянкой, составляет в 2008 г. 12%, в 2009 г. – 19%, в 2010 г. – 20%. Большая часть этих ППН находится в центрально-восточной части Республики в Беломорском и Сегежском лесничествах.

#### *Ленинградская область*

В 2008 году обследования проведены на 155 ППН, расположенных в восточной и северо-западной частях области. Центральная и юго-западная территория области практически не обследовалась, за исключением единичных ППН. Средние значения дефолиации крон деревьев преобладающих пород весьма значительны – для большинства ППН они превышают 15%. Максимальные значения дефолиации (свыше 25%) выявлены на ППН, расположенных на северо-западе области на Карельском перешейке и на крайнем юго-востоке (рис. 3А). Средние значения дехромации крон преобладающих пород деревьев на ППН в 2008 году небольшие, в основном не превышают 10% (рис. 5А). Преобладающая порода представлена на большинстве ППН сосной, возрастом от 80 до 120 лет. На Карельском перешейке распространены зандровые и моренные ландшафты низменных платформенных равнин и докембрийские щиты

и кряжи с ледниковой обработкой возвышенных платформенных равнин. Здесь расположены одни из основных источников атмосферного загрязнения, находящихся в г. Приморск (ООО «Приморский торговый порт», ООО «Спецморнефтепорт Приморск»). Также по территории проходит достаточно густая сеть автомобильных магистралей федерального значения в сторону границы с Финляндией. В 2009 г. и 2010 г. полевые обследования проведены более равномерно по всей территории области. Максимальные значения дефолиации отмечены, как и в 2008 году, на Карельском перешейке – от 20 до 45%. Также высокие значения дефолиации древостоев зафиксированы на ППН в центральной части области – 15–35% (рис. 3Б, 3В). В 2009 и 2010 гг. средние значения дехромации для большинства ППН находились в пределах от 0 до 10%, но количество ППН, на которых дехромация крон деревьев больше 10%, увеличилось почти вдвое (рис. 5Б). Наиболее высокие значениями дехромации крон древостоев (15–23%) отмечены на тех же ППН, которым соответствуют максимальные значения дефолиации. Древостои представлены преимущественно сосной разного возраста, произрастающей на озерно-ледниковых и моренных низменных равнинах. Возможно, негативное влияние на состояние крон древесных растений в этих лесничествах оказывают крупные источники промышленных выбросов в атмосферу в г. Кириши – ООО «ПО Киришинефтеоргсинтез», ОАО «Киришская ГРЭС». Из-за неравномерности ежегодных обследований на сети ППН области анализ динамики средних значений дефолиации возможен лишь для территории Карельского перешейка. В период 2008-2009 гг. для большинства ППН на Карельском перешейке отмечается положительная динамика – значения дефолиации уменьшились на 10–20% (рис. 4А). В период с 2009 по 2010 гг. средние значения дефолиации снизились в основном на ППН, расположенных вдоль границы с Финляндией, а на остальной части перешейка остались на прежнем уровне (рис. 4Б). В целом, с 2008 по 2010 годы зафиксировано значительное снижение показателя дефолиации, в среднем на 15% (рис. 4В). Тем не менее, дефолиация древесных растений на ППН Карельского перешейка остается одной из самых высоких в Ленинградской области.

На территории Ленинградской области в 2008 году примерно половина деревьев на ППН находятся в ослабленном состоянии (рис. 6А). На большинстве ППН доля поврежденных деревьев преобладающих пород не превышало 40%. Только на двух ППН из 155 обнаружено более 80% поврежденных деревьев (рис. 7А). В основном ослабленные деревья относятся к хвойным породам спелого и приспевающего групп возраста. Наибольшее количество ППН с категорией состояния «ослабленные» сконцентрированы на Карельском перешейке.

В 2009 году ситуация с санитарным состоянием древостоев еще более ухудшилась. Только на одном ППН деревья признаны здоровыми, на четырех ППН категория состояния деревьев – «сильно ослабленные». На 38% ППН отмечено более половины поврежденных

деревьев. Ухудшилась ситуация на Карельском перешейке: на всех ППН выявлены поврежденные деревья, причем на половине ППН их доля превышает 50%. Большое количество повреждений зафиксировано на ППН, расположенных на западе области (рис. 7Б). Также, достаточно много ППН с ослабленными деревьями зафиксировано в центре области в Киришском, Кировском и Любанском лесничествах. Большая часть ослабленных деревьев представлена хвойными породами в возрастном диапазоне от 65 до 120 и более лет.

В 2010 году происходит небольшая положительная динамика показателя «категория санитарного состояния» на ППН Карельского перешейка – на 14 ППН деревья признаны здоровыми и только на 2-х ППН сильно ослабленными (рис. 6Б). На картах динамики хорошо виден этот разнонаправленный процесс по годам, но, в целом, за период с 2008 по 2010 гг. отмечена небольшая положительная динамика в состоянии древостоев на Карельском перешейке (рис. 6В). Динамика соотношения здоровых и поврежденных деревьев на ППН постепенно менялось в негативную сторону. В 2010 году уже на 80% ППН Карельского перешейка обнаружено более 50% поврежденных деревьев (рис. 7). Из наиболее опасных причин повреждений деревьев за 2008-2010 гг. в северо-западной части области выявлены заболевания раком-серянкой (которому подвержены в основном хвойные деревья). На большей части ППН опасных причин повреждений не зафиксировано.

#### *Новгородская область*

В 2008 году наземные обследования проведены по всей территории области на 126 ППН. Высокая степень дефолиации отмечена на ППН, расположенных в центре и на юго-востоке области (рис. 3А). На этой территории распространены озерно-ледниковые и моренные ландшафты низменных равнин, холмисто-моренные и камовые ландшафты возвышенных равнин. Максимальные значения дефолиации не превышают 27%. Полевые обследования в 2009 и 2010 гг. проведены равномерно по всей территории, но с гораздо более разреженной сетью ППН – на 36 и 45 ППН, соответственно. В 2009 и 2010 гг. средние значения дефолиации не превышали 15%, а для большинства ППН – 10% (рис. 3Б, В).

В связи с тем, что ППН, на которых в 2008 году зафиксированы максимальные значения дефолиации деревьев, не были обследованы в последующие 2009 и 2010 годы, анализ временной динамики дефолиации за период 2008-2010 гг. не является репрезентативным. Однако по картам динамики можно отметить, что основные изменения показателя произошли в 2009 году – на севере области средние значения дефолиации снизились на 10-20%, на юго-западе (Старорусское лесничество) – немного повысились на 5–10% (рис. 4Б). Постепенно, за два года произошло небольшое увеличение дефолиации (5–10%) на востоке области в Мошенском и Пестовском лесничествах (рис. 4В).

Средние значения дехромации крон преобладающих пород деревьев небольшие. В 2008 году только на одном ППН № 26 дехромация превысила 10%. В 2009 и 2010 гг. средние значения дехромации крон преобладающих пород деревьев были ниже 10% (рис. 5А, Б).

В 2008 году доля ППН с ослабленными деревьями составляет 11%, расположены они достаточно компактно на полосе, вытянутой в меридиональном направлении, в центральной части территории области (рис. 6А). В 2009 и 2010 гг. все ППН относятся к категории состояния деревьев «здоровые». Средние значения дефолиации и дехромации крон преобладающих пород деревьев здесь также самые низкие – не превышают 10%. На картах динамики за период 2008-2010 гг. изменений санитарного состояния деревьев преобладающих пород на ППН не зафиксировано (рис. 6В). Это связано в основном с тем, что ППН, имеющие в 2008 году категорию состояния деревьев «ослабленные», в последующие годы не обследовались, и поэтому не представлены на картах. Ввиду того, что каждый год обследовалось разное количество ППН, трудно заключать о динамике количества повреждений на ППН, но для большей части обследованных ППН можно сделать вывод о постепенном небольшом увеличении доли поврежденных деревьев преобладающих пород (рис. 7).

#### *Псковская область*

Обследования проводились по всей территории области, однако если в 2008 и 2009 годах обследованы 68 ППН, то в 2010 году – только 29 ППН. Ежегодные обследования за период 2008-2010 гг. проведены на 25 ППН. В 2008 году на большинстве ППН средние значения дефолиации не превышали 15%. Только для двух ППН, расположенных в Опоческом лесничестве, дефолиация составила 21% (рис. 3А). Средние значения дехромации крон, превышающие 10%, зафиксированы на 4-х ППН области (рис. 5А). В 2009 году средние значения дефолиации были ниже 15% (рис. 3Б). Для показателя дехромации ситуация ухудшилась: уже на 12-ти ППН дехромация крон деревьев преобладающих пород превысила 10%, причем на двух ППН она составила 30-35%. Для этих ППН также была отмечена высокая дефолиация: 11–30%. ППН находятся, в основном, в Печорском и Порховском лесничествах в центральной части области. В 2010 году средние значения дефолиации на ППН были значительно ниже 10%, дехромация крон деревьев на всех ППН невысокая (менее 8%). Максимальные значения дефолиации отмечены на севере области (рис. 3В, 5Б). Следует отметить, что ППН, на которых были зафиксированы высокие значения дефолиации, обследовались за период с 2008 по 2010 гг. только один раз, и поэтому анализ динамики отсутствует. Основные изменения показателя дефолиации на 25 ППН произошли в 2009 году – на юго-востоке области показатель дефолиации уменьшился на 10–20%, на северо-западе области степень дефолиации крон деревьев повысилась на 5–10% (рис. 3Б). В период 2009-

2010 годы дефолиация колебалась в диапазоне 5%, т.е. практически оставалась неизменной (рис. 4Б). Динамика дехромации также несущественна, т.к. средние значения по годам изменяются в диапазоне 0–10% (рис. 5Б).

В период 2008-2009 гг. на территории области только у 4% ППН зафиксированы деревья с категорией состояния «ослабленные» (рис. 6А). В 2010 году все обследованные ППН отнесены к категории санитарного состояния «здоровые» (рис. 6Б). На картах динамики за период 2008-2010 гг. изменений санитарного состояния деревьев преобладающих пород на ППН, за исключением одного, не зафиксировано (рис. 6В). Это объясняется нерегулярностью обследований ППН и особенностями расчета средних значений показателя (округлением до целых чисел).

В 2008 году на большинстве ППН доля поврежденных деревьев не превышала 40%, на 15% ППН не было обнаружено повреждений деревьев преобладающих пород (рис. 7А). В следующем 2009 году можно констатировать небольшое увеличение числа ППН, на которых выявлены повреждения деревьев. Особенно это заметно на юге области (рис. 7Б). В 2010 году на всех обследованных ППН зафиксированы повреждения деревьев (рис. 7В). Отношение количества обнаруженных повреждений к числу обследованных деревьев меняется от 20–28% в 2008-2009 гг. до 59% в 2010 г.

#### *Калининградская область*

В Калининградской области ежегодные обследования в период 2008-2010 годы проведены на 34 ППН. В 2008 году средние значения дефолиации для большинства ППН не превышают 10%, на 8-ми ППН отмечена дефолиация в диапазоне 11–15% (рис. 3А). В 2009 году средние значения показателя практически не изменились, за исключением одного ППН №8 в Багратионовском лесничестве на крайнем юго-западе области, где дефолиация выросла до 38% (рис. 3Б). В 2010 году дефолиация деревьев на этом ППН осталась высокой – 37% (рис. 3В). На ППН №8 произрастают преимущественно сосны в возрасте 90 лет на озерно-ледниковых глинистых низменных равнинах. За период с 2009 по 2010 годы значения дефолиации на большинстве ППН области остались практически неизменными (рис. 4Б).

Для ППН Калининградской области можно отметить постепенное небольшое ухудшение состояния крон деревьев, зафиксированное в показателях дехромации. В 2008 году дехромации крон преобладающих пород деревьев на ППН практически не зафиксировано, и только для 3-х ППН средние значения дехромации находились в диапазоне 1–5% (рис. 5А). В 2009 году на 1 ППН (№8) дехромация составила 34% (дефолиация на этом ППН также отмечена высокая – 38%). В 2010 году уже на 9-ти ППН дехромация крон деревьев превысила 10%, причем на ППН № 8 она достигла 46% (рис. 5Б). Эти негативные изменения показателя дехромации хорошо заметны на картах динамики дехромации (рис. 5В). Санитарное состояние

деревьев на ППН остается стабильным на протяжении всего периода наблюдений – только на 2-х ППН выявлены ослабленные деревья (рис. 6).

В период 2008-2010 гг. на территории области на всех ППН были обнаружены повреждения деревьев преобладающих пород. В 2008 году на 32% ППН отмечены повреждения у большей части деревьев (более 50%). Больше всего зафиксировано повреждений деревьев на севере и на западе области (рис. 7А). В 2009 году количество ППН, на которых поврежденные деревья составляют более 50%, сократилось до 18%, а в 2010 году их осталось 9% (рис. 7Б). К 2010 г. значительно улучшилась ситуация в Славском лесничестве на севере области – на ППН обнаружено не более 20% повреждений деревьев преобладающих пород (рис. 7В). Лишь на одном ППН №8 (где отмечены максимальные значения показателей дефолиации и дехромации) зафиксировано более 80% поврежденных деревьев. Из числа наиболее опасных причин повреждений деревьев на территории области встречается только рак-серянка (на 2-3-х ППН). В целом, можно сделать вывод о постепенном уменьшении, как общего количества повреждений деревьев, так и количества ППН с большой долей поврежденных деревьев.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ карт динамики состояния древесных пород за период 2008-2010 гг. показал, что пункты постоянных наблюдений с древесными растениями, отличающимися самым высоким уровнем дефолиации, сконцентрированы в среднетаежном лесном районе на территории Ленинградской области, преимущественно на Карельском перешейке. Здесь произрастают в основном деревья хвойных пород. Возраст деревьев составляет от 80 до 190 лет. Для всей Ленинградской области можно отметить пространственную близость ППН с высокими значениями показателя дефолиации к крупным источникам промышленных выбросов в атмосферу. В 2008 году самые высокие значения дехромации отмечены в Республике Карелия, в 2009 году наибольшее число ППН с высокими значениями дехромации находилось в Мурманской, Ленинградской и Псковской областях. В 2010 году максимальные значения дехромации зафиксированы на ППН Ленинградской и Калининградской областей.

Большая часть деревьев преобладающих пород на ППН сети мониторинга здоровы. Санитарное состояние деревьев на ППН за период 2008-2010 гг. только в двух регионах (Карелия и Ленинградская область) варьирует от категории «здоровые» до «сильно ослабленные». На большинстве ППН за период 2008-2010 категория состояния деревьев не изменилась. Основные изменения этого показателя приурочены к Карельскому перешейку Ленинградской области и югу Карелии. Здесь расположены ППН как с негативной, так и с положительной тенденцией изменения категорий состояния деревьев. В целом по всем

регионам большая часть ослабленных деревьев на ППН относятся к хвойным породам старше 80 лет. Количество ППН с ослабленными деревьями лиственных пород (в основном береза и осина) значительно ниже.

Доля поврежденных деревьев в целом для всех регионов за анализируемый период увеличилась (с 23% в 2008 г. до 39% в 2010 г.). Основные причины повреждений – грибные болезни (20–40%), насекомые-вредители, а также абиотические факторы. Доля факторов антропогенного происхождения для всех субъектов не превышает 12%. Максимальные показатели доли поврежденных деревьев преобладающих пород на ППН (свыше 80%) за весь период наблюдений отмечены в 4-х регионах: Республики Карелии, Ленинградской (преимущественно на Карельском перешейке), Мурманской и Калининградской областях. Калининградская область является единственным регионом, в котором за период 2008-2010 гг. на всех ППН присутствуют поврежденные деревья. Встречаемость наиболее опасных причин повреждений деревьев самая высокая в Ленинградской области и Республики Карелия. Здесь распространено заболевание деревьев раком-серянкой.

В целом, по результатам картографического анализа динамики показателей состояния древесных растений за период с 2008 г. по 2010 г. можно выделить Ленинградскую область (особенно Карельский перешеек), на территории которой среднетаежные леса характеризуются стабильно самыми худшими средними значениями показателей на всей сети мониторинга ICP Forests. Это может быть связано с комбинированным негативным действием природных (тип ландшафта, биотические повреждения) и антропогенных факторов, в частности, рекреационных нагрузок и влиянием загрязняющих атмосферу веществ. Также, можно отметить большое количество больных и поврежденных деревьев в притундровых и северотаежных лесах в Мурманской области и на севере Карелии. В наибольшей степени повреждения выражены на ППН, приуроченных к песчаным озерно-ледниковым ландшафтам и щитами и кряжам с ледниковой обработкой возвышенных равнин. Однако, для выявления причин и надежной идентификации состояния древостоев необходимо увеличить густоту сети наблюдений, т. к. плотность существующей сети 32 x 32 км (а ежегодные наблюдения проводятся на сети 64 x 64 км) недостаточна. Наиболее информативными (чувствительными к основным видам негативного воздействия) по результатам анализа являются показатели дефолиации крон и доли поврежденных деревьев. Показатели дехромации и категории состояния менее вариабельны, что может быть связано как с более высокой субъективностью оценок при проведении полевых работ, так и с особенностями методики расчета средних значений.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Сотрудникам филиала ФГУ Рослесозащита», г. Санкт-Петербург за предоставленные данные полевых наземных обследований на ППН по программе ICP Forests, чл.-корр. РАН Н.В. Лукиной (Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН) за руководство работами по теме исследования и всестороннюю поддержку, М.П. Шашкову (Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН) за помощь при создании базы данных мониторинга ICP Forests.

Разработка методики исследований проводилась в рамках государственного задания ЦЭПЛ РАН по теме «Развитие методических подходов к дистанционному мониторингу ресурсного потенциала и экологического состояния лесных экосистем» (№0110-2017-0001, АААА-А18-118021990060-1).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Алексеев А.С., Трейфельд Р.Ф., Синкевич А.Е.* Мониторинг лесов Ленинградской области на основе регулярной биоиндикационной сети пробных площадей по программе ICP Forests // Лесобиологические исследования на Северо-Западе таежной зоны России: итоги и перспективы: материалы науч. конф., посвященной 50-летию Института леса Карельского научного центра РАН, Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 18-29.

*Бахмет О.Н., Федорец Н.Г., Крышень А.М.* Исследования по международной программе ICP Forests в Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. № 2. 2011. С. 133-139.

*Животовский Л.А.* Популяционная биометрия. М.: Наука, 1991. 271 с.

*Жирин В.М., Лукина Н.В.* Развитие системы инвентаризации лесов в России // Лесной вестник. 2017. Т. 21. № 2. С. 4-14.

*Лукина Н.В., Орлова М.А., Горнов А.В., Кузнецов П.В., Князева С.В., Смирнов В.Э., Зукерт Н.В., Эйтлинка С.П., Ершов В.В.* Оценка критериев устойчивого управления лесами с использованием индикаторов международной программы ICP Forests // Лесоведение. 2013. № 5. С. 62-75.

*Князева С.В., Лукина Н.В., Эйдлинка С.П., Орлова М.А., Смирнов В.Э., Горнов А.В., Кузнецов П.В., Зукерт Н.В.* Возможности применения методики ICP Forests для целей Государственной инвентаризации лесов крайнего севера // Материалы всероссийской конференции «Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана». Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2013. С. 530-533. URL: <http://ib.komisc.ru/add/conf/tundra>



Князева С.В., Эйшлина С.П. Организация пространственных и атрибутивных баз данных в системе лесопаталогического мониторинга по международной программе ICP Forests // Доклады V Всероссийской конференции (с международным участием), посвященной памяти выдающихся ученых-лесоводов В.И. Сухих и Г.Н. Коровина «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве». М.: ЦЭПЛ РАН, 2013. С. 282-286.

Методические рекомендации по мониторингу лесов в соответствии с международной программой ICP Forests, утвержденные приказом Рослесхоза от 15.07.2009. № 292.

Отчет ЦЭПЛ РАН о НИР по теме «Разработка научно-обоснованных предложений по критериям и индикаторам ослабления лесов на основе результатов лесопаталогического мониторинга, выполненного по международным стандартам, для оценки исполнения переданных полномочий в области лесных отношений». Ч. 1. 212 с. М., 2011.

Отчет ЦЭПЛ РАН о НИР по теме «Разработка научно-обоснованных предложений по критериям и индикаторам ослабления лесов на основе результатов лесопаталогического мониторинга, выполненного по международным стандартам, для оценки исполнения переданных полномочий в области лесных отношений». Ч. 1. 172 с. М., 2012.

Филипчук А.Н., Страхов В.В., Тепляков В.К. и др. Обзор методов инвентаризации лесов в зарубежных странах. М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. 71 с.

Швиденко А.З. Какая система учета лесов нужна России? // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск: СибГТУ, 2007. № 1 (37). С. 128-156.

Эйшлина С.П., Князева С.В. Информационное и картографическое сопровождение мониторинга ICP Forests в России // Материалы III Международной конференции «Геоинформационные системы и дистанционное зондирование». Цахкадзор, 2014. С. 36-42.

Экологический атлас России. М.: Изд. Географический ф-т МГУ им. М.В.Ломоносова, ЗАО «Карта», 2002. 128 с.

Gillis M.D., Omule A.Y., Brierley T. Monitoring Canada's forests: The National Forest Inventory // The Forestry Chronicle. 2005. Vol. 81. No 2. P. 214-221.

Kangas A., Maltamo M. Forest Inventory. Methodology and Applications. Managing Forest Ecosystems. Vol. 10. Dordrecht: Springer, 2006. 363 p.

Powell D.S., McWilliams W.H., Birdsey R.A. History change and the U.S. Forest Inventory // Journal of Forestry. 1994. Vol. 12. P. 6-11.

Tomppo E. The Finnish National Forest Inventory / Kangas A., Maltamo M. (eds.). Forest Inventory. Methodology and Applications. Managing Forest Ecosystems. Vol. 10. Dordrecht: Springer, 2006. P. 179-194.

Tomppo E., Katila M., Mäkisara K., Peräsaari J. The Multi-source National Forest Inventory of Finland – methods and results 2011 // Working Papers of the Finnish Forest Research Institute, 2011. Vol. 319. P. 1-224. URL: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp319.pdf>

Wulder M.A., Kurz W.A., Gillis M.D. National level forest monitoring and modeling in Canada // Progress in Planning. 2003. Vol. 61. P. 365-381.

## REFERENCES

Alekseev A.S., Trejfel'd R.F., Sinkevich A.E., Monitoring lesov Leningradskoj oblasti na osnove reguljarnoj bioindikacionnoj seti probnyh ploschadej po programme ICP-Forests (Forests monitoring at the Leningrad Region based on a regular bioindication network of sample plots on the ICP-Forests program), *Lesobiologicheskie issledovaniya na Severo-Zapade taezhnoj zony Rossii: itogi i perspektivy: materialy nauch. konf., posvyashchennoj 50-letiyu Instituta lesa Karel'skogo nauchnogo centra RAN*, Petrozavodsk: KarNC RAN, 2007. pp. 18-29.

Bahmet O.N., Fedorec N.G., Kryshen' A.M., Issledovaniya po mezhdunarodnoj programme ICP Forests v Karelii (Investigations within the international program ICP-Forests in Karelia), *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN*, No 2, 2011. pp. 133-139.

*Ehkologicheskij atlas Rossii* (Ecological Atlas of Russia), Moscow: Izd. Geograficheskij f-t MGU im. M.V. Lomonosova, ZAO «Karta», 2002, 128 p.

Eydlina S.P., Knyazeva S.V. Informatsionnoye i kartograficheskoye soprovozhdeniye monitoringa ICP Forests v Rossii (Information and cartographical support of ICP Forests monitoring program in Russia), *Geographic information systems and remote sensig*, Proceedings of the III International conference, Tsakhkadzor, 2014, pp. 36-42.

Filipchuk A.N., Strahov V.V., Teplyakov V.K., Obzor metodov inventarizacii lesov v zarubezhnyh stranah (Overview of forest inventory methods in foreign countries), Moscow: *VNIIClesresurs*, 1995, 71 p

Gillis M.D., Omule A.Y., Brierlay T., Monitoring Canada's forests: The National Forest Inventory. *The Forestry Chronicle*, 2005, Vol. 81, No 2, pp. 214-221.

Kangas A., Maltamo M., *Forest Inventory. Methodology and Applications. Managing Forest Ecosystems*, Dordrecht: Springer, 2006, Vol. 10, 363 p.

Knyazeva S.V., Eydlina S.P., Organizatsiya prostranstvennykh i atributivnykh baz dannykh v sisteme lesopatalogicheskogo monitoringa po mezhdunarodnoj programme ICP Forests (Organization of spatial and attribute databases in the system of forest pathological monitoring according to the ICP Forests international program), *Aerospace methods and geoinformation technologies in forest science and forestry in forestry and forest management*. Proceedings of the V All-Russian scientific conference (with the international participation) dedicated to the memory of

outstanding forestry scientists V.I. Sukhikh and G.N. Korovin. Moscow.: Centre for forest ecology and productivity RAS, 2013, pp. 282-286.

Knyazeva S.V., Lukina N.V., Eydlina S.P., Orlova M.A., Smirnov V.E., Gornov A.V., Kuznetsov P.V., Zukert N.V., Vozможности primeneniya metodiki ICP Forests dlya tseley Gosudarstvennoy inventarizatsii lesov kraynego severa (The possibility of using the ICP Forests methodology for the purposes of the State Forest Inventory), *Biodiversity of the Far North Ecosystems: inventory, monitoring, protection. Proceedings of the All-Russian scientific conference*. Syktyvkar: Institut biologii Komi NC UrO RAN, 2013, pp. 530-533, available at: <http://ib.komisc.ru/add/conf/tundra>

Lukina N.V., Orlova M.A., Gornov A.V., Kuznetsov P.V., Knyazeva S.V., Smirnov V.E., Zukert N.V., Eydlina S.P., Yershov V.V., Otsenka kriteriyev ustoychivogo upravleniya lesami s ispol'zovaniyem indikatorov mezhdunarodnoy programmy ICP Forests (Assessment of Sustainable Forest Management Criteria using indicators of the ICP Forests international program), *Lesovedeniye*, 2013, No 5, pp. 62-75.

*Otchet CEHPL RAN o NIR po teme "Razrabotka nauchno-obosnovannyh predlozhenij po kriteriyam i indikatoram oslableniya lesov na osnove rezul'tatov lesopatologicheskogo monitoringa, vypolnennogo po mezhdunarodnym standartam, dlya ocenki ispolneniya peredannyh polnomochij v oblasti lesnyh otnoshenij"* (Development of scientifically-based proposals for criteria and indicators for forest attenuation based on the results of forest pathological monitoring carried out according to international standards to assess the implementation of transferred powers within forest relations). Part. 1. 212 p. Moscow, 2011.

*Otchet CEHPL RAN o NIR po teme "Razrabotka nauchno-obosnovannyh predlozhenij po kriteriyam i indikatoram oslableniya lesov na osnove rezul'tatov lesopatologicheskogo monitoringa, vypolnennogo po mezhdunarodnym standartam, dlya ocenki ispolneniya peredannyh polnomochij v oblasti lesnyh otnoshenij"* (Development of scientifically-based proposals for criteria and indicators for forest attenuation based on the results of forest pathological monitoring carried out according to international standards to assess the implementation of transferred powers within forest relations). Part. 1. 172 p. Moscow, 2012.

Powell D.S., McWilliams, W.H., Birdsey, R.A., History change and the U.S. Forest Inventory, *Journal of Forestry*, 1994, Vol. 12, pp.6-11.

*Prikaz Rosleskhoza* (Order of Federal Forestry Agency organize permanent), No 292, 2009

Shvidenko A.Z., Kakaya sistema ucheta lesov nuzhna Rossii? (Which of forests system accounting does Russia need?), *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo*, Krasnoyarsk: SibGTU, 2007, No 1 (37), pp. 128-156.

Tomppo E., Kangas A., Maltamo M. (eds.), *The Finnish National Forest Inventory. Forest Inventory. Methodology and Applications. Managing Forest Ecosystems*, Vol. 10, Dordrecht: Springer, pp 179-194.

Tomppo E., Katila M., Mäkisara K., Peräsaari J., The Multi-source National Forest Inventory of Finland – methods and results 2011. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute, Measurement. 2011, Vol. 319, pp. 1-224, available at: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp319.pdf>

Wulder M.A., Kurz W.A., Gillis M.D., National level forest monitoring and modeling in Canada, *Progress in Planning*, 2003, Vol. 61, pp. 365-381.

Zhirin V.M., Lukina N.V., Razvitiye sistemy inventarizatsii lesov v Rossii (Development of a Forest Inventory System in Russia), *Forestry Bulletin*, 2017, Vol. 21, No 2, pp. 4-14.

Zhivotovskij L.A., *Populyacionnaya biometriya* (Population biometrics), Moscow: Nauka, 1991, 271 p.

### **Cartographic estimation of tree parameter dynamics in Russian Northwest regions**

**S.V. Knyazeva, S.P. Eydlina**

*Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS*

*Profsoyuznaya st. 84/32 bldg. 14, Moscow, 117997, Russia*

[knsvetl@gmail.com](mailto:knsvetl@gmail.com)

Received 20 November 2018

The article deals with the analysis of spatial and temporal dynamics of forest condition parameters in Russian Northwest regions over the 2008-2010. Main assessed parameters were defoliation, discoloration, crown condition category and percentage of crown damage on observation plots of ground-based regular monitoring network organized according to the ICP Forests international program. An assessment was carried out by means of geoinformation mapping and of the spatial analysis taking into account landscape, climatic conditions and man-made influence. It has been analyzed parameters on 710 plots from six Russian regions: Leningrad, Pskov, Novgorod, Kaliningrad, Murmansk and the Republic of Karelia. The most informative parameters were defoliation and the percentage of crown damages. The trees showed higher defoliation in the coniferous forests which formed on lake-glacial lowland plains and on high platform plains (Precambrian shields and ridges with glacial treatment) in the Republic of Karelia and in the Leningrad Region (Karelian isthmus). The proportion of damaged trees increased from 23% in 2008 to 39% in 2010. The maximum values of this parameter (over 80%) for the entire period were observed in 4 regions: the Republic of Karelia, Leningrad (mainly on the Karelian isthmus), Murmansk and Kaliningrad regions. The most dangerous causes of tree damages prevailed in the Leningrad region and in Republic of Karelia. Trees affected by diseases were 30% in the north taiga, 24% in the middle taiga and 19% in the south taiga. The most damaged trees were on sand landscapes and on Precambrian shields and ridges with glacial treatment. In general, according to the results of the cartographic analysis of monitoring data for the period from 2008 to 2010, the Karelian Isthmus (Leningrad Region) can be distinguished, in which middle-taiga forests are characterized by consistently the worst average values of the state of tree plants throughout the ICP Forests network.

**Key words:** *condition of tree plants, regular network, points of constant observation, assessment of crown condition, dominant species, damage and diseases of trees, maps of parameters*

Рецензент: д.б.н., профессор Голубева Е.И.