

Издатель

ФГБОУ «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

Т. 5. № 1 (17). Январь, 2016

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов

Редакционная коллегия

Г. С. Антипина
А. Е. Веселов
Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинин
А. М. Макаров
А. Ю. Мейгал

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Т. В. Ивантер
Н. Д. Чернышева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, ул.Анохина, 20. Каб. 208

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>





Содержание Т. 5. № 1. 2016.

От редакции

Наши ожидания 3

Аналитический обзор

Ильина О. В., Родионов А. В. **Выборочные рубки на Северо-Западе России: состояние, возможности и препятствия для использования** 4 – 23

Яблоков А. В. **Об элементаризации экосистемных подходов** 24 - 28

Оригинальные исследования

Акимова Е. В., Шкляревич Г. А. **Скорость роста брюхоногого моллюска *Littorina littorea* L. в Кандалакшском заливе Белого моря** 29 – 39

Методы экологических исследований

Комарова А. Ф., Журавлева И. В., Яблоков В. М. **Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова** 40 - 74

Оригинальные исследования

Стецько А. В. **Приловы камчатского краба при промысле донных рыб на юго-востоке Баренцева моря** 75 - 79

Письма в редакцию

Колбин В. А. **Книга вышла декоративная, а могла бы быть и познавательной...** 80 – 82

Линник Ю. В. **О творчестве Андрея Хохрякова** 83 - 95

Синописис

Макаров А. М. **Всегда ли история науки – это свод биографий?** 96-97



Выпуск № 1

От редакции

НАШИ ОЖИДАНИЯ

Уважаемые читатели, авторы и рецензенты!

Включение нашего журнала в новый Перечень ВАК сказалось на почте. Она стала не только обширнее, но и разнообразнее. Нам стали предлагать статьи, имеющие самое косвенное отношение к экологии, например, по физиологии (близко к аутоэкологии), по общему состоянию среды (что больше относится к географии) и др. Кроме того, возросла доля подаваемых статей, имеющих описательный характер, констатирующих факты.

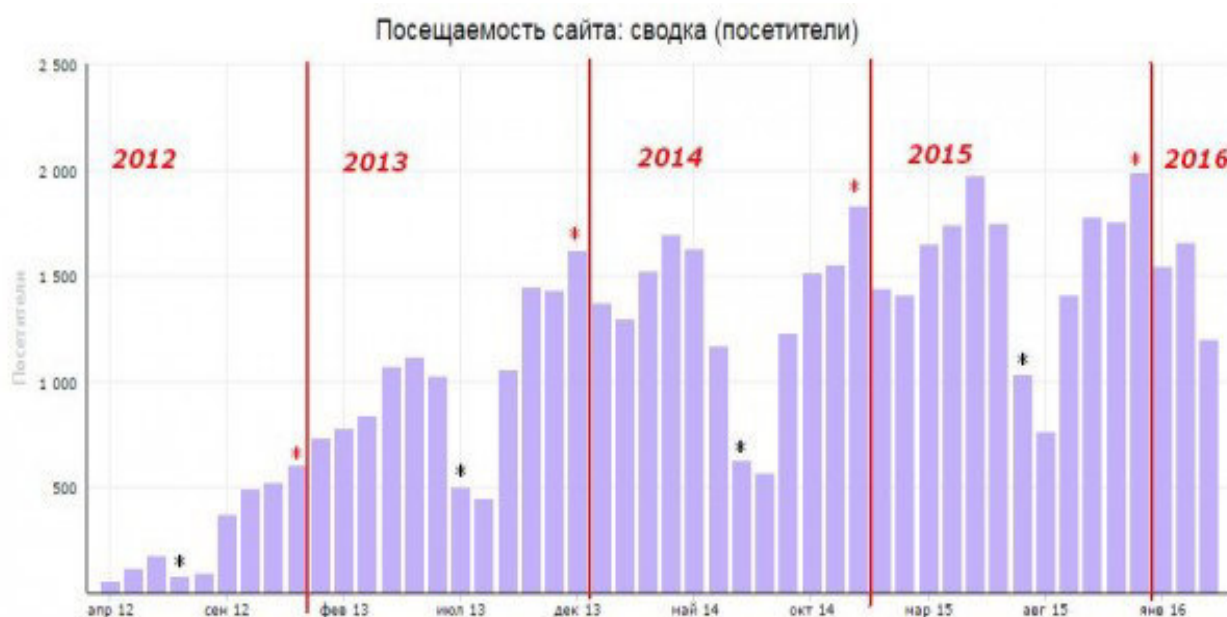
В этой связи хочется напомнить о политике нашего издания. Она по-прежнему будет состоять в том, чтобы публиковать результаты исследований, нацеленных на поиск принципов существования экосистем (экологических закономерностей) и принципов исследования экологических феноменов (экологическая методология). Вместе с тем мы не отказываемся и от некоторого отступления от научной строгости, для чего и была создана рубрика «Письма». Нам кажется важным начало очередной дискуссии в рубрике «Мнения».

В попытке понять свое место в потоке информации можно рассмотреть динамику числа посетителей нашего сайта за прошедшие 4 года. В целом этот показатель растет, однако в последнее время (2014–2015) – менее существенно, нежели в предыдущие годы (2012–2014). Любопытна неравномерность динамики: если в июле (* черный) наблюдается традиционное «дно», то в декабре (* красный) – ее пик.

Не рассчитывая на стабильность, будем ожидать хотя бы положительный тренд.

Выпуск 1 еще формируется, по завершении появятся работающие ссылки DOI.

С неизменным стремлением к сотрудничеству, редколлегия электронного журнала «Принципы экологии»





УДК 630*61

Выборочные рубки на Северо-Западе России: состояние, возможности и препятствия для использования

ИЛЬИНА

Ольга Владимировна

РОО «СПОК», olga.spok@gmail.com

РОДИОНОВ

Андрей Викторович

РОО «СПОК», andrey.rodionov@mail.ru

Ключевые слова:

выборочные рубки
Северо-Запад России
состояние
возможности
препятствия
сохранение
лесная среда
мозаичность
ключевые биотопы
добровольная лесная сертификация
устойчивое лесопользование

Аннотация: Представлены обзорные сведения о доле выборочных рубок (без рубок ухода и санитарных) в общем объеме заготовки древесины на Северо-Западе России, полученные на основе данных государственной статистики и путем опроса ряда крупных FSC-сертифицированных лесопромышленных предприятий региона. Приведен обзор долгосрочных положительных эффектов от внедрения несплошных (выборочных, постепенных) и мелкоконтурных (в т. ч. узколесосечных) сплошных рубок в практику лесопользования. Проанализированы основные препятствия на пути широкого внедрения таких рубок. Представлены варианты решений для предотвращения возможных неблагоприятных последствий применения таких рубок в лесах России. Предложены рекомендации для эффективного перехода к лесопользованию с сохранением лесной среды и мозаичности лесных ландшафтов на основе несплошных и мелкоконтурных сплошных рубок.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Д. Г. Мясичев

Рецензент: А. А. Алейников

Получена: 22 февраля 2016 года

Подписана к печати: 28 марта 2016 года

Введение

В широко обсуждаемой «Концепции интенсивного использования и воспроизводства лесов» особо отмечается, что в лесном секторе России назрела необходимость отказа от так называемой «экстенсивной модели» лесопользования и лесного хозяйства, основанной на пионерном освоении спелых и перестойных лесов сплошными рубками.

Сырьевая база для применения этой модели в России – большие массивы первичных хвойных лесов, которые в европейской части страны были исчерпаны

в 60–70-х гг. XX века, а в Сибири исчерпываются сейчас. По экспертной оценке, оставшийся эксплуатационный запас хвойных насаждений на севере европейской части России может быть вырублен в ближайшие 20 лет (Соколов, 2016; Ярошенко, 2016б).

Альтернативой текущей модели может стать «интенсивная модель», подразумевающая экономически эффективное выращивание целевых (преимущественно хвойных) древостоев в более короткие сроки на продуктивных лесных землях, вблизи центров переработки древесины. Современное видение «интенсивной мо-

дели» предполагает разнообразие видов рубок (сплошных, выборочных и др.), переход к выращиванию разновозрастных и разнопородных лесов, адаптацию системы лесозаготовок и лесовосстановления к методам, которые бы имитировали естественную динамику лесов, а также сохранение мозаичности лесных ландшафтов и биоразнообразия лесных экосистем при лесопользовании (Ярошенко, 2016а, 2016б).

В рамках перехода к новой модели «Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов на период до 2030 года» (Основы..., 2016) предусматривают увеличение объема заготовки древесины выборочными рубками в пригодных для этого лесных насаждениях. Переход к несплошным (выборочным, постепенным) рубкам и мелкоконтурным сплошным рубкам (площадью до 10 га, в т. ч. узколесосечным) является одним из требований лесной сертификации по схеме FSC (Forest Stewardship Council – Лесной попечительский совет). В 2009–2010 гг. в Лесной кодекс РФ и другие нормативные акты были внесены поправки, создающие основу для промышленной заготовки древесины в защитных лесах, но без проведения сплошных рубок (Кобяков и др., 2013).

Вышеуказанные мероприятия не являются чем-то новым для лесного хозяйства. В течение XX века опыт такого перехода накоплен и отчасти систематизирован в средней и южной Европе; имеются успешные примеры такого перехода и на Северо-Западе России (например, опыт трех российских модельных лесов: «Прилузья», Ковдозерского и Псковского). Более того, современный отечественный опыт модельных лесов оказался востребованным в рамках сотрудничества стран бассейна Балтийского моря в области устойчивого управления лесными ландшафтами (Чабак, 2012; Ярошенко, 2016а).

В связи с вышеизложенным представляются актуальными систематизация и анализ сложившейся на лесопромышленных предприятиях практики применения «нетрадиционных» (выборочных, мелкоконтурных сплошных и проч.) видов

рубков в традиционных «многолесных» регионах Северо-Запада России, оценка возможностей и препятствий для перехода от сплошных рубок к иным видам рубок с целью сохранения мозаичности лесных ландшафтов и биоразнообразия лесных экосистем при лесопользовании.

Настоящий обзор подготовлен с целью обобщения информации о текущей практике применения несплошных и мелкоконтурных сплошных рубок на FSC-сертифицированных лесопромышленных предприятиях Северо-Запада России, основных препятствиях на пути широкого внедрения таких рубок в практику лесопользования и возможностях сохранения естественной лесной среды на вырубаемых деланках.

Аналитический обзор

Выбор Северо-Западного федерального округа РФ (СЗФО РФ) в качестве территории обследования объясняется тем, что по данным «Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС)» (Объем..., 2016) округ является одним из лидеров по объему заготовки древесины в России.

Северо-Западный федеральный округ образован в соответствии с указом Президента РФ от 13.05.2000 г. № 849. Общая территория СЗФО составляет 1687 тыс. км² (9.9 % территории России). На территории округа проживает 13 млн 660 тыс. человек (9.5 % населения России). В состав округа входят 11 субъектов РФ: Республика Карелия, Республика Коми, Архангельская область, Вологодская область, Калининградская область, Ленинградская область, Мурманская область, Новгородская область, Псковская область, г. Санкт-Петербург, Ненецкий автономный округ. Административный центр округа – г. Санкт-Петербург (Северо-Западный..., 2016а).

На территории СЗФО (рис. 1) производится 10 % валового внутреннего продукта страны (5-е место среди округов). По размеру среднедушевого валового регионального продукта округ занимает 3-е место среди федеральных округов.



Рис. 1. Карта-схема Северо-Западного федерального округа РФ (Северо-Западный..., 2016а)
Fig. 1. Schematic map of the North-West Federal District of Russia (North-West..., 2016a)

Лесопромышленный сектор является одним из ключевых в экономике региона. На территории СЗФО произрастает почти 60 % лесов европейской части России. Запас древесины – около 10 млрд м³. Здесь производится 30 % российских пиломатериалов, 40 % клееной фанеры, порядка 40 % деловой древесины, 50 % картона и 60 % бумаги (Северо-Западный..., 2016б).

Практика применения несплошных и мелкоконтурных сплошных рубок в СЗФО РФ

Для оценки практики сохранения лесной среды и мозаичности лесного ландшафта на основе несплошных (выборочных, постепенных) рубок и мелкоконтурных (в т. ч. узколесосечных) сплошных рубок в период 2014–2015 гг. экспертами общественной организации «Северная природоохранная коалиция (СПОК)» был проведен сбор информации и анкетирование ряда крупных FSC-сертифицированных предприятий СЗФО РФ и некоторых сопредельных регионов. Были собраны открытые сведения о деятельности 32 лесозаготовительных предприятий за период 2005–2014 гг.

По данным Российского национального офиса FSC (Факты..., 2016),

на 31.01.2016 г. площадь сертифицированных лесов в стране достигла 42.1 млн га, с 2005 г. увеличившись более чем в 4 раза. Следует отметить, что положительная динамика сертификации сохраняется. Предполагается, что все сертифицированные предприятия в той или иной степени перейдут к выборочным или мелкоконтурным сплошным рубкам.

Общая площадь лесов РФ составляет около 865 млн га, из них эксплуатационные леса занимают 598 млн га (Ежегодный..., 2012). По оценке экспертов WWF России, площадь экономически доступных лесов, в которых возможно получение прибыли при лесопользовании, гораздо меньше (оценочно – около 80 млн га; часть из них расположена на территории СЗФО, вблизи крупных центров переработки древесины), к тому же все эти леса уже вовлечены в активную эксплуатацию (Интенсивное..., 2013; Книзе, Романюк, 2004; Шварц, 2006). По обобщенным данным ЕМИСС (www.fedstat.ru), с 2005 г. в северо-западной части России доля выборочных рубок постепенно увеличивается (рис. 2). В целом по стране в 2013 году доля выборочных рубок составила 16.4 %.

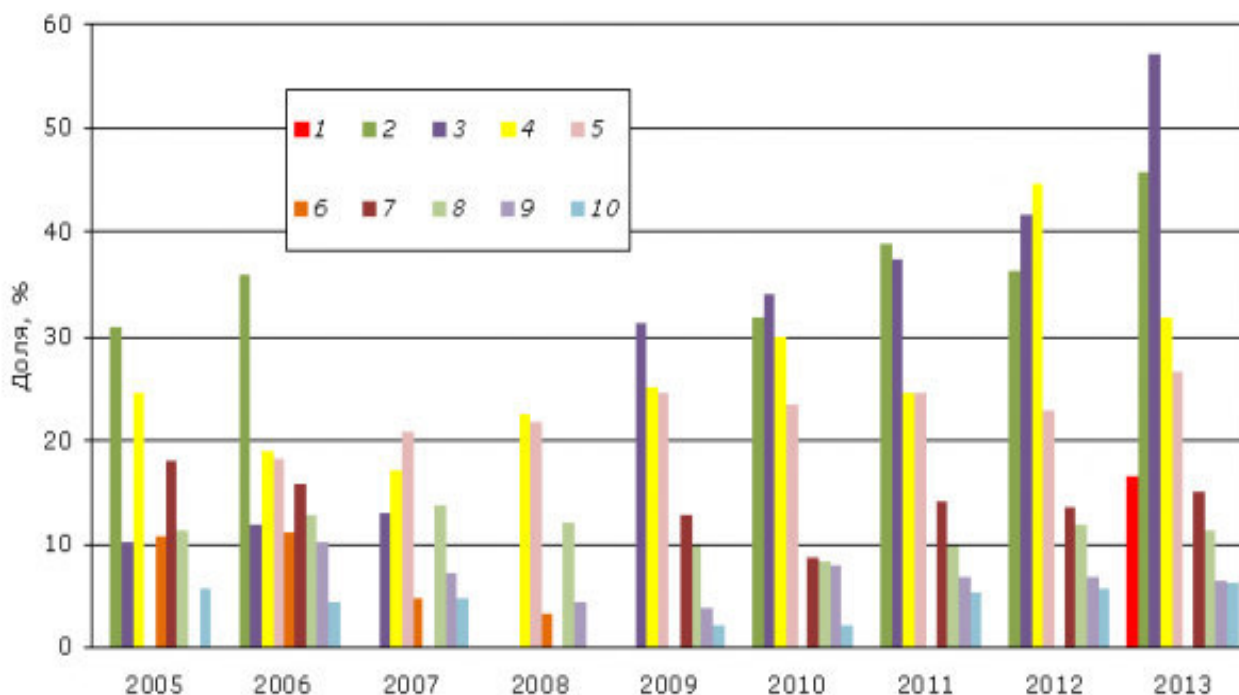


Рис. 2. Доля выборочных рубок в регионах Северо-Западного федерального округа РФ, %:

1 – Российская Федерация в целом, 2 – Мурманская область, 3 – Республика Карелия, 4 – Ленинградская область, 5 – Архангельская область, 6 – Калининградская область, 7 – Новгородская область, 8 – Вологодская область, 9 – Республика Коми, 10 – Псковская область

Fig. 2. Proportion of shelterwood cuttings in the regions of the North-West Federal District of Russia, %:

1 – Russian Federation as a whole, 2 – Murmansk region, 3 – Republic of Karelia, 4 – Leningrad region, 5 – Arkhangelsk region, 6 – Kaliningrad region, 7 – Novgorod region, 8 – Vologda region, 9 – Republic of Komi, 10 – Pskov region

В результате вышеупомянутого сбора информации и анкетирования FSC-сертифицированных предприятий СЗФО РФ и некоторых сопредельных регионов были получены сведения о доле выборочных рубок (без рубок ухода и санитарных) в общем объеме рубок для заготовки древесины (по площади, табл. 1).

Выявлено, что на 7 предприятиях наблюдается устойчивое увеличение или постоянно высокий уровень выборочных рубок. Причем программа перехода от сплошных рубок на большой площади к выборочным рубкам или сплошным рубкам на небольшой площади есть у всех предприятий, где этот переход еще актуален.

Для оценки эффективности процесса перехода к мелкоконтурным сплошным

рубкам (площадью до 10 га), сохранения лесной среды и мозаичности лесного ландшафта можно использовать два параметра, фиксирующихся некоторыми предприятиями, – средняя площадь сплошной рубки и площадь сохраняемых неэксплуатационных участков на делянках сплошной рубки.

Отметим, что при небольших площадях сплошных рубок возможна такая планировка лесосеки, которая позволяет расположить большинство выявленных ключевых биотопов за ее пределами. Тогда доля выделенных неэксплуатационных участков может быть незначительной при высоком уровне сохранения мозаичности лесного ландшафта и лесной среды.

Таблица 1. Доля выборочных рубок на обследованных FSC-сертифицированных предприятиях Северо-Западного федерального округа РФ (по площади), %

№ предприятия	Год сертификации	Год										В среднем за период
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
1	2011	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
2	2004	-	-	-	-	-	-	-	-	38.9	38.4	38.6
3	2011	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
4	2005	-	-	-	77.6	55.3	57.5	60.7	65.3	-	-	63.3
5	2010	-	-	-	-	-	-	-	-	13.0	-	13.0
6	2007	-	-	-	20.9	14.3	13.4	-	-	-	-	16.2
7	2012	-	-	-	-	-	-	-	-	41.5	-	41.5
8	2008	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	0.0
9	2012	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
10	2006	-	44.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-	93.0
11	2009	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
12	2011	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	-	0.0
13	2011	-	-	-	-	26.9	7.8	22.7	5.0	5.7	-	13.6
14	2010	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.4	33.6	-	8.5
15	2011	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
16	2006	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	2012	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
18	2012	-	-	-	-	-	-	18.4	25.0	15.9	-	19.8
19	2007	-	-	32.2	44.3	38.8	34.6	34.5	46.4	36.3	-	38.1
20	2015	-	-	-	-	2.5	1.2	0.1	0.0	0.0	-	0.7
21	2013	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0
22	2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.8	13.4	11.5	-	5.3

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных (данные либо отсутствуют в открытом доступе, либо не были предоставлены предприятием в ходе анкетирования).

В ходе исследования данные о средней площади делянки сплошной рубки были получены для 17 лесозаготовительных предприятий (табл. 2), а данные о количестве сохраняемых неэксплуатационных участков на делянках сплошной рубки – только для 10 (табл. 3). Остальные предприятия не ведут учет этих показателей либо не включают их в отчеты по мониторингу деятельности.

Установлено (см. табл. 2), что 8 из 17 предприятий, от которых получена информация, постоянно ведут заготовку

мелкоконтурными сплошными рубками (менее 10 га). У 3 предприятий средняя площадь сплошной рубки превышает 20 га; у 2 из них размеры делянок сплошных рубок уменьшаются со времени получения сертификата FSC.

Заметим, что у предприятий из южной части Северо-Западного федерального округа РФ (Новгородская области, южная часть Вологодской области и Республики Карелия) площади сплошных рубок изначально существенно меньше в силу большой фрагментированности лесного

Таблица 2. Средняя площадь деланки сплошной рубки для некоторых из обследованных FSC-сертифицированных предприятий Северо-Западного федерального округа РФ, га

№ предприятия	Год сертификации	Год										В среднем за период
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
1	2011	-	-	-	-	-	-	6.4	8.4	8.0	7.4	7.6
2	2004	-	-	-	-	27.5	-	-	-	25.0	25.0	25.8
3	2011	-	-	-	-	-	25.0	33.0	24.0	22.0	-	26.0
10	2006	-	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.4
12	2011	-	-	-	-	-	-	-	-	19.0	-	19.0
13	2011	-	-	-	-	8.0	12.0	22.2	19.5	17.5	-	15.8
14	2010	-	-	-	-	-	13.6	11.6	11.6	7.3	-	11.0
16	2006	-	-	-	-	25.5	26.4	26.5	24.7	28.1	27.5	26.5
18	2012	-	-	-	-	-	-	8.1	6.9	4.0	-	6.3
19	2007	-	-	9.0	8.9	8.4	8.2	7.3	8.0	8.3	-	8.3
21	2013	-	-	-	-	-	-	-	11.0	12.7	13.6	12.4
22	2006	25.1	15.4	16.7	11.5	10.7	21.5	16.0	13.5	11.7	-	15.8
23	2006	-	-	-	-	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	-	6.0
24	2014	-	-	-	-	-	-	-	7.0	6.8	-	6.9
27	2006	7.0	8.0	8.0	-	-	-	3.6	6.3	6.5	-	6.6
28	2014	-	-	-	-	-	-	-	-	8.5	-	8.5
32	2010	-	-	-	-	-	7.2	7.5	10.3	8.8	7.9	8.3

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных (данные либо отсутствуют в открытом доступе, либо не были предоставлены предприятием в ходе анкетирования).

фонда, отсутствия крупных массивов спелых лесов. Довольно высокая доля выделения неэксплуатационных участков (в среднем 10.7 % площади деланки сплошной рубки) отмечена у одного предприятия (см. табл. 3).

Однако многие из обследованных предприятий, применяющих сплошные рубки площадью более 10 га или неустановленной площади и не выполняющих переход к выборочным рубкам, не ведут учет или не предоставляют данные о выделенных неэксплуатационных участках.

Можно утверждать, что процесс перехода к мелкоконтурным сплошным рубкам или несплошным (выборочным, постепен-

ным) рубкам на большинстве из рассмотренных FSC-сертифицированных предприятий идет медленно. Отдельные предприятия после получения сертификата FSC не изменили практику ведения рубок в спелых эксплуатационных лесах.

Таким образом, необходимо стимулировать предприятия более активно совершенствовать практику лесопользования, в т. ч. с целью выполнения требований добровольной лесной сертификации по схеме FSC.

Положительные эффекты несплошных и мелкоконтурных сплошных рубок

По оценке руководителя лесного отдела Гринпис России А. Ю. Ярошенко (Ярошенко, 2016а), переход к выборочным

Таблица 3. Доля выделенных на делянках неэксплуатационных участков в общей площади рубок для некоторых из обследованных FSC-сертифицированных предприятий Северо-Западного федерального округа РФ, %

№ предприятия	Год сертификации	Год										В среднем за период
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
1	2011	-	-	-	-	-	-	-	3.8	5.3	7.5	5.5
10	2006	-	-	5.8	9.0	1.3	1.6	1.4	3.6	2.1	-	3.5
14	2010	-	-	-	-	-	-	-	4.2	6.9	-	5.5
16	2006	-	-	-	-	3.8	2.1	3.9	7.3	-	-	4.3
18	2012	-	-	-	-	-	-	-	1.1	1.0	-	1.1
19	2007	-	-	3.0	5.5	10.6	9.2	6.8	7.1	7.2	-	7.1
22	2006	-	-	-	-	10.0	9.5	10.3	11.1	12.6	-	10.7
24	2014	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	-	3.0
27	2006	-	-	-	-	-	-	3.5	5.0	7.3	-	5.3
28	2014	-	-	-	-	-	-	-	-	3.1	-	3.1

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных (данные либо отсутствуют в открытом доступе, либо не были предоставлены предприятием в ходе анкетирования).

рубкам (как разновидности несплошных рубок) позволяет достичь следующих положительных эффектов:

- **непрерывного сохранения полезных функций леса, минимизации конфликтов с населением.** Выборочные рубки обеспечивают непрерывное сохранение лесной среды и (за счет этого) разнообразных полезных функций леса (защита почвы и берегов водоемов, сохранение мест обитания лесных животных и растений, мест отдыха граждан и т. д.);

- **увеличения продуктивности лесов.** В условиях средней полосы России переход к выборочной форме хозяйства поможет избежать в перспективе потери примерно 1/6 солнечного света, улавливаемого лесными насаждениями, и примерно в той же степени повысить продуктивность лесов в пересчете на оборот рубки при сплошно-лесосечном хозяйстве;

- **повышения устойчивости к вредителям, болезням и стихийным бедствиям, снижения потерь древесины на освоенных участках.** Разновозрастные, особенно

смешанные по составу, насаждения обычно намного устойчивее к вредителям, болезням и стихийным бедствиям. Также при выборочных рубках исчезают, а при сплошных рубках на небольшой площади значительно сокращаются проблемы, связанные с распадом (усыхание, повреждение насекомыми и др.) насаждений вдоль стен леса;

- **повышения устойчивости к периодам упадка в лесном хозяйстве.** Формирование разновозрастных и разновидных лесов позволяет отчасти сохранить естественные механизмы смены поколений деревьев и избежать проблем, связанных с длительным отсутствием хозяйственной деятельности и лесопользования. В разновозрастных лесах гибель старых деревьев представляет собой постепенный процесс, почти никогда не приобретающий катастрофических масштабов (как в случае одновозрастных чистых насаждений), а устойчивость таких лесов к вредителям и болезням позволяет избе-

жать неблагоприятного изменения их санитарного состояния;

- **сокращения затрат на лесовосстановление.** За счет сохранения источника семян и создания затенения (гибельного для поросли светолюбивых лиственных пород, но вполне приемлемого для развития теневыносливых целевых пород) общие затраты на лесовосстановление и уход при выборочной форме хозяйства могут быть существенно сокращены;

- **сокращения объемов заготовки неликвидной древесины.** При правильно организованных выборочных рубках можно заметно, иногда многократно, снизить ее долю. Многие деревья, не представляющие потребительной ценности (например, старые экземпляры березы, осины, дуба северного, других широколиственных и т. д.), при выборочной рубке целесообразно оставлять на корню с целью обеспечения ветроустойчивости леса. При сформировавшейся разновозрастной структуре древостоя выборочные рубки позволяют в основном избегать заготовки и тонкомерных деревьев.

Следует отметить, что отечественными учеными и лесоведами-практиками накоплен богатый научный материал по проблеме воздействия различных видов рубок на лесную среду, процессам естественного и искусственного восстановления леса на вырубках (см., например: Алексеев, 1948; Алексеев, Молчанов, 1954; Мелехов, 1966; Морозов, 1949; Побединский, 1973 и др.). Исследования по разработке средооформирующих технологий заготовки древесины активно продолжаются (см., например: Азаренок, 2012; Герц, 2004; Кейн, 2000 и др.).

На основании анализа ряда работ (Засухин, Паутов, 2013; Кейн, 2000; Паутов, 2013а, 2013б, 2013в, 2013г, 2013д; Попова, Паутов, 2013; Сборник..., 2011; Шарлаев и др., 2009) можно утверждать, что уменьшение негативного влияния лесозаготовок на лесную

среду и мозаичность лесного ландшафта возможно за счет:

- перехода от сплошных рубок к различным вариантам несплошных рубок;
- перехода к мелкоконтурным сплошным рубкам (площадью до 10 га);
- сохранения участков и элементов исходного древостоя при рубках.

При планировании размещения лесосек следует вписывать их в естественные ландшафтные границы. Небольшие лесосеки сплошной рубки (менее 10 га) можно разместить так, что все (или почти все) ключевые биотопы останутся за пределами деланки (рис. 3). В таком случае внутри самой деланки уже нет необходимости выделять ни ключевые биотопы, ни дополнительные куртины для поддержания мозаичности лесного ландшафта; достаточно будет оставления ключевых элементов древостоя и семенных деревьев. Несмотря на то, что при несплошных рубках лесная среда претерпевает гораздо меньшие изменения, чем при сплошных, на больших деланках несплошных рубок также необходимо сохранять ключевые биотопы и объекты. Сохранение участков и элементов исходного древостоя на деланке может реализовываться за счет:

- выделения и сохранения ключевых биотопов;
- оставления семенных куртин;- выделения прочих неэксплуатационных участков (редины, молодняки и др.);
- выделения дополнительных куртин и полос леса при сплошных и несплошных рубках, охватывающих более 10 га (если вышеуказанные участки отсутствуют на деланке);
- оставления семенных деревьев;
- оставления ключевых элементов древостоя.

Влияние на стоимость лесозаготовительных и лесохозяйственных работ

Очевидно, что переход от сплошных рубок к различным вариантам несплошных



Рис. 3. Космический снимок делянки сплошной рубки с сохраненными ключевыми биотопами (указаны на снимке стрелками; снимок спутника Landsat, <http://glovis.usgs.gov/>)

Fig. 3. Satellite image of clear-cut plot with protected key habitats (indicated by arrows in the picture; picture of Landsat satellite, <http://glovis.usgs.gov/>)

(выборочных, постепенных) рубок или к мелкоконтурным сплошным рубкам (площадью до 10 га) окажет влияние на стои-

мость лесозаготовительных и лесохозяйственных работ.

В табл. 4 представлены результаты оценки возможного изменения стоимости некоторых основных составляющих этих работ в лесу. Таблица подготовлена по материалам публикаций (Засухин, Паутов, 2013; Кейн, 2000; Паутов, 2013а, 2013б, 2013в, 2013г, 2013д; Попова, Паутов, 2013; Сборник..., 2011; Шарлаев и др., 2009).

Следует отметить, что сохранение лесной среды и мозаичности лесного ландшафта при мелкоконтурных сплошных рубках не потребует серьезных преобразований в системе хозяйствования по сравнению с переходом к несплошным рубкам. Основным препятствием может быть необходимость вложения денежных средств в повышение квалификации сотрудников, ответственных за отвод лесного фонда и разработку делянок. Данные затраты должны со временем компенсироваться за счет снижения затрат на лесозаготовки и лесовосстановление.

Таблица 4. Возможные изменения стоимости лесозаготовительных и лесохозяйственных работ при переходе к несплошным и мелкоконтурным сплошным рубкам

Составляющая стоимости работ	Возможное изменение стоимости при рубках	
	несплошных	мелкоконтурных сплошных
Обучение сотрудников	Увеличиваются затраты на повышение квалификации как инженерно-технического персонала (ведение документации, подбор участков, определение параметров выборки, особенностей технологии заготовки и др.), так и лесозаготовителей (соблюдение параметров выборки, технологии валки и пр.)	Увеличиваются затраты на повышение квалификации инженерно-технического персонала (ведение документации, размещение делянок с учетом ландшафтных границ, выявление и установление границ ключевых биотопов, дополнительных куртин и др.) и лесозаготовителей (сохранение выделенных объектов на делянке, выделение и сохранение ключевых элементов в пасаках и пр.)

Таблица 4. Продолжение

Составляющая стоимости работ	Возможное изменение стоимости при рубках	
	несплошных	мелкоконтурных сплошных
Отвод делянок	Увеличиваются затраты за счет увеличения площади отводимого лесного фонда (требуется примерно в 3 раза больше, чем для сплошных рубок). Уменьшаются затраты за счет возможного примыкания по всем сторонам других делянок	Увеличиваются затраты за счет большего количества делянок и большей протяженности их границ при неизменной общей площади. Затраты на отвод неэксплуатационных участков значительно не изменяются, поскольку при сплошных рубках небольшой площади ключевые биотопы могут оставаться за пределами лесосек, а также отсутствует необходимость сохранения дополнительных куртин для поддержания мозаичности лесного ландшафта. При сплошных рубках на большой площади необходимы дополнительные затраты на выделение внутри неэксплуатационных участков для сохранения ключевых биотопов и куртин леса с целью поддержания мозаичности лесного ландшафта
Строительство дорог	Увеличиваются затраты, так как на малоосвоенных участках (без развитой сети дорог) для заготовки одинакового объема древесины несплошными рубками требуется дорожная сеть, которая примерно в 2 раза длиннее, чем при использовании сплошных рубок (с учетом сроков примыкания лесосек после сплошных рубок)	Затраты не изменяются или незначительно увеличиваются
Заготовка древесины	Увеличиваются затраты на единицу объема при несплошных рубках за счет увеличения количества проходов техники. Сокращаются затраты за счет уменьшения заготовки неликвидной древесины (ветроустойчивые старые лиственные деревья, тонкомер), оставляемой в пасеках и в составе ключевых биотопов, а также за счет преимущественной выборки необходимых сортиментов	Сокращаются затраты за счет уменьшения заготовки неликвидной древесины, оставляемой в составе ключевых биотопов и ключевых элементов и при условно-сплошных рубках (старые, сухостойные деревья, лиственные деревья нецелевых пород)

Таблица 4. Продолжение

Составляющая стоимости работ	Возможное изменение стоимости при рубках	
	несплошных	мелкоконтурных сплошных
Отвод делянок	Увеличиваются затраты за счет увеличения площади отводимого лесного фонда (требуется примерно в 3 раза больше, чем для сплошных рубок). Уменьшаются затраты за счет возможного примыкания по всем сторонам других делянок	Увеличиваются затраты за счет большего количества делянок и большей протяженности их границ при неизменной общей площади. Затраты на отвод неэксплуатационных участков значительно не изменяются, поскольку при сплошных рубках небольшой площади ключевые биотопы могут оставаться за пределами лесосек, а также отсутствует необходимость сохранения дополнительных куртин для поддержания мозаичности лесного ландшафта. При сплошных рубках на большой площади необходимы дополнительные затраты на выделение внутри неэксплуатационных участков для сохранения ключевых биотопов и куртин леса с целью поддержания мозаичности лесного ландшафта
Строительство дорог	Увеличиваются затраты, так как на малоосвоенных участках (без развитой сети дорог) для заготовки одинакового объема древесины несплошными рубками требуется дорожная сеть, которая примерно в 2 раза длиннее, чем при использовании сплошных рубок (с учетом сроков примыкания лесосек после сплошных рубок)	Затраты не изменяются или незначительно увеличиваются
Заготовка древесины	Увеличиваются затраты на единицу объема при несплошных рубках за счет увеличения количества проходов техники. Сокращаются затраты за счет уменьшения заготовки неликвидной древесины (ветроустойчивые старые лиственные деревья, тонкомер), оставляемой в пасеках и в составе ключевых биотопов, а также за счет преимущественной выборки необходимых сортиментов	Сокращаются затраты за счет уменьшения заготовки неликвидной древесины, оставляемой в составе ключевых биотопов и ключевых элементов и при условно-сплошных рубках (старые, сухостойные деревья, лиственные деревья нецелевых пород)
Лесовосстановление	Значительно снижаются или исчезают затраты на лесовосстановление, которое в этом случае осуществляется за счет сохраненного подраста и оставленных обсеменителей. В отдельных случаях необходимо содействие естественному лесовозобновлению путем минерализации почвы на ограниченной площади, дополнение естественного возобновления, посадка под пологом леса	Снижаются затраты, так как возможно эффективное обсеменение от близко расположенных стен леса и оставленных участков и элементов исходного древостоя. В ряде случаев необходимо содействие естественному лесовозобновлению путем минерализации почвы на ограниченной площади или дополнение естественного возобновления

Таблица 4. Продолжение

Составляющая стоимости работ	Возможное изменение стоимости при рубках	
	несплошных	мелкоконтурных сплошных
Уход за молодняками	Значительно снижаются или исчезают затраты на уход за подростом во многих случаях, поскольку даже разреженный полог древостоя обеспечивает затенение, неблагоприятное для поросли светолюбивых лиственных пород, но вполне приемлемое для развития теневыносливых целевых пород	Снижаются затраты на уход за подростом, поскольку оставленные участки и элементы исходного древостоя обеспечивают частичное затенение, неблагоприятное для поросли светолюбивых лиственных пород, но вполне приемлемое для развития теневыносливых целевых пород

Возможные препятствия на пути к изменению практики лесопользования

Основным препятствием для более широкого использования несплошных (выборочных, постепенных) рубок или мелкоконтурных сплошных рубок (площадью до 10 га) является сложность их организации и выполнения по сравнению с использованием «традиционных» сплошных рубок площадью до 50 га. Несплошные рубки требуют более квалифицированных исполнителей на всех этапах работ. При их выполнении должно быть учтено гораздо больше параметров, соответственно, повышаются вероятность ошибок и риск наложения штрафов. Кроме того, для несплошных рубок пригодны не все насаждения.

Однако непреодолимых препятствий для внедрения несплошных рубок нет, что подтверждается успешной многолетней практикой ряда компаний. Например, ОАО «Ладэнсо» (Республика Карелия), арендная база которого полностью расположена в защитных лесах, проводит только выборочные рубки.

В табл. 5 представлены возможные неблагоприятные последствия несплошных рубок и конструктивные пути их предотвращения. Таблица подготовлена по материалам публикаций (Засухин, Паутов, 2013; Кейн, 2000; Паутов, 2013а, 2013б, 2013в, 2013г, 2013д; Попова, Паутов, 2013; Сборник..., 2011; Шарлаев и др., 2009)

Таблица 5. Пути предотвращения возможных неблагоприятных последствий широкого внедрения несплошных рубок

Возможные последствия	Предлагаемые решения
Опасность ветровала, распада насаждения	Следование алгоритму выбора типа рубок (см. далее) в зависимости от характеристик лесного участка. Учет (отмена или отсрочка) рубки при экстремальных погодных условиях (засушливый год, вспышка вредителей и др.). Выбор сезона заготовки в зависимости от лесорастительных условий. Ориентация делянок (трелевочных волоков) перпендикулярно преобладающему направлению ветров. Минимизация ширины волоков. Недопущение образования крупных «окон» в пологе оставляемого древостоя. Варьирование интенсивности выборки на делянке (минимальная выборка или исключение рубки на переувлажненных участках). Целенаправленная выборка в первом ярусе крупных экземпляров пород, неустойчивых к ветровой нагрузке (ель, пихта), оставление в первом ярусе экземпляров ветроустойчивых пород (сосна, береза, осина)
Опасность заражений фитовредителями из-за повреждений стволов и корней	Проведение рубок в зимний период по замерзшей почве и глубокому снегу для уменьшения ошмыгивания крон, повреждения стволов и корневых лап оставляемого на доращивание древостоя. Тренировка операторов машин направленной валке для уменьшения количества повреждений

Таблица 5. Продолжение

Возможные последствия	Предлагаемые решения
Неудовлетворительное лесовозобновление	Планирование и проведение обработки почвы или создание лесных культур под пологом при отсутствии благонадежного подроста (например, в одновозрастных чистых насаждениях)

Варианты совершенствования практики лесопользования

На основе анализа ряда публикаций (Засухин, Паутов, 2013; Кейн, 2000; Паутов, 2013а, 2013б, 2013в, 2013г, 2013д; Попова, Паутов, 2013; Сборник..., 2011; Шарлаев и др., 2009) можно обозначить следующие возможные пути перехода к лесопользованию с сохранением лесной среды и мозаичности лесных ландшафтов на основе несплошных (выборочных, постепенных) рубок или мелкоконтурных сплошных рубок (площадью до 10 га).

Очевидно, что сохранение лесной среды и мозаичности лесных ландшафтов возможно при проведении как несплошных, так и сплошных рубок с соблюдением ряда требований. Выбор способа рубки должен быть обусловлен не только природными особенностями лесного насаждения, но и экономической и социальной значимостью осваиваемого участка.

Следует отметить, что о выборе способа рубки можно говорить только в отношении территорий, не имеющих высоких природоохранных или социальных ценностей, подразумевающих ограничение или полный запрет на лесозаготовки (например, наличие особо охраняемых природных территорий, лесов высокой природоохранной ценности и т. п.).

Несплошные рубки как основной способ заготовки древесины необходимо внедрять прежде всего в густонаселенных лесодефицитных районах, где социальная и средообразующая функция лесов высока. За их пределами возможно проведение и сплошных, и несплошных рубок. Отчасти это соотносится с имеющейся в России системой защитных лесов, где разрешены только выборочные рубки.

Сплошные рубки целесообразно проводить:

- на участках лесного фонда, ориентированных на дальнейшее искусственное лесовосстановление и интенсивное выращивание леса, расположенных в эксплуатационных лесах, не имеющих высокой социальной значимости. Пригодны насаждения, где накопленный запас и продуктивность земель делают выгодной рубку с последующим интенсивным ведением лесного хозяйства. Также могут быть использованы продуктивные участки без спелого леса, перспективные для интенсивного лесовыращивания. К этой категории можно отнести насаждения III (и выше) класса бонитета в удобных для вывоза древесины частях лесного фонда и крупные участки насаждений II (и выше) класса бонитета в менее удобных частях;

- на участках лесного фонда, где интенсивное лесовыращивание невыгодно, но по природным условиям (характеристики почвы, тип леса и пр.) ведение несплошных рубок принесет скорее вред, чем пользу, а также в случаях, где действуют ограничения, установленные нормативными правовыми актами (например, низкополнотные насаждения), или несплошные рубки при действующих нормативах экономически невыгодны. В этом случае проводятся сплошные рубки на небольшой площади с соблюдением естественных ландшафтных границ, с сохранением ключевых биотопов и ключевых элементов.

На участках лесного фонда, непригодных для интенсивного лесовыращивания, необходимо избегать проведения масштабных сплошных рубок (рис. 4). На таких территориях в современных условиях с высокой вероятностью не будет проведен комплекс мер по искусственному лесовосстановлению и уходу, а естественные процессы восстановления лесов хозяйственно ценных пород могут растянуться на 150–200 лет (с учетом смены пород).



Рис. 4. Сплошная рубка большой площади без сохранения ключевых биотопов
Fig. 4. Large clear-cut plot without preserving key habitats

Если проведение несплошных рубок невозможно, то рубки следует планировать так, чтобы после заготовки древесины лесопользователи оставили за собой территорию с как можно менее преобразованной лесной средой, способной наилучшим образом восстановиться естественным образом (рис. 5). Для этого необходимо принимать специальные меры по сохранению лесной среды и мозаичности лесного ландшафта. Надо стараться сохранить как можно больше элементов исходного леса, которые позволят уменьшить степень изменения лесной среды и степень нарушения почвенного покрова (поскольку каждое оставленное на корню дерево уменьшает количество проходов техники и ее нагрузку на почву). Для таких условий вполне подходящим компромиссом были бы условно-сплошные рубки.

Лесные насаждения, в которых нецелесообразны несплошные рубки:

- чистые насаждения светолюбивых пород (сосна, береза, тополь);
- одновозрастные спелые и перестойные насаждения на свежих почвах и с избыточным увлажнением;
- чистые лиственные насаждения или с единичной примесью хвойных пород в составе верхнего яруса.

Лесные насаждения, в которых целесообразны несплошные рубки:

- высоко- и среднеполнотные насаждения (0,7 и более);
- многоярусные, разновозрастные насаждения на хорошо дренированных почвах (не подходят сфагновые, травяно-сфагновые типы);
- одновозрастные насаждения на хорошо дренированных почвах (не подходят сфагновые, травяно-сфагновые, долгомошные типы). Следует отметить, что для



Рис. 5. Сплошная рубка с сохранением элементов исходного древостоя
Fig. 5. Clear-cutting with preservation of original elements of the stand

перехода от сплошных рубок к несплошным и широкого внедрения различных методов сохранения мозаичности лесного ландшафта при сплошных рубках недостаточно внесения конкретных изменений в отдельные нормативные правовые акты (например, ограничить площадь делянки сплошной рубки до 10 га). Необходимы изменения, обеспечивающие устойчивое лесопользование в целом, частью которых будут изменения, касающиеся применения различных видов рубок и особенностей их проведения.

Для выбора способа рубки и конкретного вида несплошной рубки необходимо разработать региональные алгоритмы (рекомендации). В действующих нормативных правовых актах федерального уровня нет указаний, на каких участках какой вид рубки проводить, это должно быть реализова-

но на региональном уровне (для каждого субъекта РФ, лесного района; или внутри каждого субъекта РФ для каждого лесного района).

Данные алгоритмы должны определять виды рубки в конкретном выделе и особенности ее проведения в зависимости от типа леса, типа почв, возрастной и ярусной структуры, наличия и состояния подроста и других особенностей. Разработка и внедрение таких алгоритмов позволит существенно изменить практику применения различных видов рубок.

На рис. 6 представлена схема, которой предлагается руководствоваться при принятии решения о выборе того или иного способа и вида рубки. Данная схема может быть положена в основу разработки вышеупомянутых региональных алгоритмов (рекомендаций).

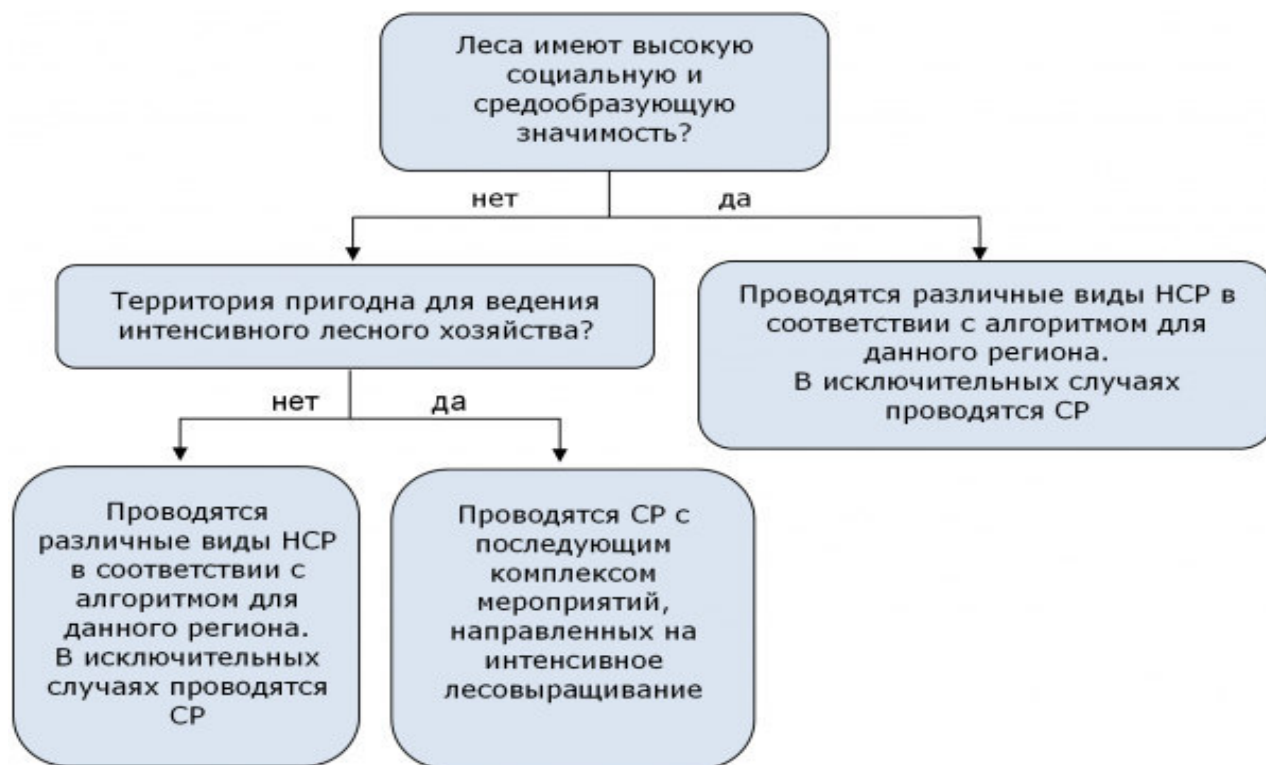


Рис. 6. Алгоритм выбора вида рубки: НСР – несплошная рубка (добровольно-выборочные, группово-выборочные, равномерно-постепенные или другие аналогичные виды рубок (Приказ..., 2016)); СР – сплошная рубка

Fig. 6. Algorithm for choosing the type of cutting: HCP – striped-couple cutting (voluntary-selective, group-selective, uniformly-gradual or other similar types of cuttings (Order..., 2016)); CP – clear cutting

Заключение

На основании анализа работ (Засухин, Паутов, 2013; Кейн, 2000; Паутов, 2013а, 2013б, 2013в, 2013г, 2013д; Попова, Паутов, 2013; Сборник..., 2011; Шарлаев и др., 2009; Ярошенко, 2016а, 2016б), с учетом действующего лесного законодательства РФ можно сформулировать следующие рекомендации для эффективного перехода к лесопользованию с сохранением лесной среды и мозаичности лесных ландшафтов на основе несплошных и мелкоконтурных сплошных рубок:

1. Лесозаготовительным предприятиям – подготовить технические задания на проекты освоения лесов с увеличением доли несплошных рубок:
2. Региональным органам власти – внести изменения в лесохозяйственные регламенты в части

увеличения доли расчетной лесосеки по несплошным видам рубок в эксплуатационных лесах, а также по включению в регламенты перечней объектов биоразнообразия, подлежащих сохранению (в соответствии с п. 17 «Правил заготовки древесины» (Приказ..., 2016)).

3. Необходима разработка и утверждение региональных алгоритмов (регламентов), четко и просто определяющих, какой вид рубки необходимо проводить в конкретном лесном выделе (см., например, рис. 5).
4. Необходимо законодательно стимулировать предприятия активнее совершенствовать практику лесопользования и переходить на рубки с минимально возможным изменением

ем лесной среды (в т. ч. с использованием несплошных и мелкоконтурных сплошных рубок).

5. Необходимо законодательно выделить в эксплуатационных лесах территории, предназначенные для интенсивного лесопользования. В остальных эксплуатационных лесах рубки

должны вестись с минимально возможным изменением лесной среды (в т. ч. с использованием несплошных и мелкоконтурных сплошных рубок) и с преимущественной ориентацией на естественное лесовозобновление с минимальным уходом или без него.

Библиография

- Азаренок В. А. Экологизированные рубки спелых и перестойных насаждений в реализации концепции сохранения лесорастительной среды (на примере Свердловской области) : Дисс. ... д-ра с.-х. наук. Екатеринбург, 2012. 229 с.
- Алексеев С. В. Рубки в лесах Севера . М.; Л.: Гослесбумиздат, 1948. 64 с.
- Алексеев С. В., Молчанов А. А. Выборочные рубки в лесах Севера . М.: Изд-во АН СССР, 1954. 148 с.
- Герц Э. Ф. Теоретическое обоснование технологий рубок с сохранением лесной среды (на примере Уральского региона) : Дисс. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2004. 309 с.
- Ежегодный доклад о состоянии и использовании лесов Российской Федерации за 2012 г. . М.: ФБУ «ВНИИЛМ», 2012. 123 с.
- Засухин Д. П., Паутов Ю. А. Экспериментальные полигоны № 6 и № 7 «Сплошные и выборочные рубки в разновозрастных ельниках» . Сыктывкар, 2013. 29 с.
- Интенсивное устойчивое лесное хозяйство: барьеры и перспективы развития / Под общ. ред. Н. М. Шматкова. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. 214 с.
- Кейн О. П. Повышение эффективности выборочных рубок путем обоснования оптимального технологического процесса (в условиях Республики Коми) : Дисс. ... канд. техн. наук. СПб., 2000. 168 с.
- Книзе А. А., Романюк Б. Д. О двух точках зрения на российский лес и лесное хозяйство . Псков, 2004. 16 с.
- Кобяков К., Лепешкин Е., Титова С. Защитные леса: получится ли их сохранить? // Устойчивое лесопользование. 2013. № 1. С. 34–44.
- Мелехов И. С. Рубки главного пользования . 2-е изд., испр. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1966. 372 с.
- Морозов Г. Ф. Учение о лесе . 7-е изд. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. 456 с.
- Объем заготовленной древесины // ЕМИСС Государственная статистика. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/37848> (дата обращения: 27.03.2016).
- Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 26.09.2013 г. № 1724-р) // Сайт Правительства России. URL: <http://government.ru/media/files/41d4926bf69a218ee79f.pdf> (дата обращения: 12.03.2016).
- Паутов Ю. А. Демонстрационный маршрут «Коммерческие прореживания в сосновых лесах («Ожин»)» . Сыктывкар, 2013а. 29 с.
- Паутов Ю. А. Демонстрационный маршрут «Лес и человек: история взаимоотношений («Читаево»)» . Сыктывкар, 2013б. 29 с.
- Паутов Ю. А. Демонстрационный маршрут «Сплошные механизированные рубки в еловых лесах («Нюла»)» . Сыктывкар, 2013в. 29 с.
- Паутов Ю. А. Демонстрационный маршрут «Сплошные рубки в сосновых лесах: кратковременная прибыль, долговременные потери («Ношуль»)» . Сыктывкар, 2013г. 33 с.
- Паутов Ю. А. Экспериментальные полигоны № 3 и № 4 «Восстановление коренных сосняков путем имитации естественной сосново-еловой пожарной динамики после сплошной и постепенной рубки» . Сыктывкар, 2013д. 28 с.
- Побединский А. В. Рубки и возобновление леса в таежных лесах СССР . М.: Лесн. пром-сть, 1973. 200 с.
- Попова Е. А., Паутов Ю. А. Демонстрационный маршрут «Естественная лесная динамика таежных экосистем («На Нюлу»)» . Сыктывкар, 2013. 29 с.
- Приказ Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз) от 1 августа 2011 г. № 337 г. Москва «Об утверждении Правил заготовки древесины» // RG.RU – интернет-портал «Российской газеты». URL: <http://www.rg.ru/2012/01/20/drevesina-dok.html> (дата обращения: 21.02.2016).

- Сборник научных трудов по итогам НИР ФГУ «СевНИИЛХ» за 2005–2009 годы / Отв. за выпуск Н. А. Демидова, Р. В. Сунгуров, Е. А. Сурина и др. Архангельск, 2011. 186 с.
- Северо-Западный федеральный округ // Полномочный представитель Президента Российской Федерации в Северо-Западном федеральном округе. URL: <http://szfo.gov.ru/county> (дата обращения: 12.03.2016а).
- Северо-Западный федеральный округ // География. URL: <http://geographyofrussia.com/severo-zapadnyj-federalnyj-okrug/> (дата обращения: 12.03.2016б).
- Соколов А. И. Повышение ресурсного потенциала таежных лесов лесокультурным методом. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2016. 178 с.
- Факты и цифры // FSC Россия. URL: https://ru.fsc.org/ru-ru/chto_my_delaem/facts_and_figures (дата обращения: 21.02.2016).
- Чабак Е. Прилузье – серебряная тайга // Леспроминформ. 2012. № 2. С. 78–82.
- Шарлаев С. Э., Валдаев В. В., Макаров Д. В. Лесной план Республики Карелия: стратегия развития и использования лесов // Лесные ресурсы таежной зоны России: проблемы лесопользования и лесовосстановления: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. Петрозаводск, 2009. С. 10–13.
- Шварц Е. А. WWF помогает сделать страну здоровой // Леспроминформ. 2006. № 4. С. 28–30.
- Ярошенко А. Ю. О переходе от сплошных рубок к выборочным // Лесной форум Гринпис России. URL: <http://www.forestforum.ru/viewtopic.php?f=6&t=11212&hilit=выборочные+рубки> (дата обращения: 14.02.2016а).
- Ярошенко А. Ю. Минприроды продолжает разработку Концепции интенсивного использования и воспроизводства лесов // Лесной форум Гринпис России. URL: <http://forestforum.ru/viewtopic.php?f=9&t=18059> (дата обращения: 14.02.2016б).

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке проекта WWF и IKEA «Содействие устойчивому лесопользованию в России на основе сотрудничества со всеми заинтересованными сторонами в сферах государственного управления, бизнеса и образования».

Авторы благодарят координатора проектов WWF России по лесам высокой природоохранной ценности Константина Николаевича Кобякова за активное участие в обсуждении полученных результатов.

Shelterwood cuttings in the North-West of Russia: situation, opportunities and obstacles for implementation

IL'INA Ol'ga

NGO «SPOK», olga.spok@gmail.com

RODIONOV Andrey

NGO «SPOK», andrey.rodionov@mail.ru

Key words:

Shelterwood cuttings
North-West of Russia
situation
opportunities
obstacles
conservation
forest environment
forest mosaic
key habitats
voluntary forest certification
sustainable forest management

Summary: The overview of the proportion of shelterwood cuttings (without thinning and sanitary cuttings) in the total volume of timber harvesting in the Northwest of Russia is presented. It is based on the state statistics data and those received by the survey of a number of large FSC-certified timber companies of the region. The review of the long-term positive effects of introducing partial cuttings (selective, gradual) and small-scale (including striped-couple cuttings), clear cuttings into the forest management practice is given. The main barriers that prevent the widespread introduction of such cuttings are analyzed. The options to prevent possible adverse effects of such cuttings in Russian forests are proposed. The recommendations are made to implement the forest management with the maintenance the forest environment and forest landscape mosaic, due to the striped-couple cuttings and small-scale clear cuttings.

References

- Azarenok V. A. Ecologized cuttings of mature and over-mature stands in the implementation of the concept of conservation of forest vegetation environment (on the example of Sverdlovsk region): Disp. ... d-ra s, h. nauk. Ekaterinburg, 2012. 229 p.
- Alekseev S. V. Cuttings in the forests of the North. M.; L.: Goslesbumizdat, 1948. 64 p. Alekseev S. V. Molchanov A. A. Selection cuttings in the forests of the North. M.: Izd-vo AN SSSR, 1954. 148 p.
- Gerc E. F. Theoretical justification of harvesting techniques with the conservation of forest environment (on the example of the Ural region): Disp. ... d-ra tehn. nauk. Ekaterinburg, 2004. 309 p.
- Annual report on the condition and use of forests of the Russian Federation in 2012. M.: FBU «VNIILM», 2012. 123 p. Zasuhin D. P. Pautov Yu. A. Experimental polygons № 6 and № 7 «Clear and selection cuttings in uneven-aged spruce forests». Syktyvkar, 2013. 29 p.
- Intensive sustainable forestry: barriers and prospects for development, Pod obsch. red. N. M. Shmatkova. M.: Vsemirnyy fond dikoy prirody (WWF), 2013. 214 p.
- Keyn O. P. Improving efficiency of selection cuttings by substantiation of optimum technological process (case of Komi Republic): Disp. ... kand. tehn. nauk. SPb., 2000. 168 p. Knize A. A. Romanyuk B. D. On two points of view on the Russian forest and forestry. Pskov, 2004. 16 p.
- Kobyakov K. Lepeshkin E. Titova S. Protective forests: will we save them?, Ustoychivoe lesopol'zovanie. 2013. 21 Il'ina O., Rodionov A. Shelterwood cuttings in the North-West of Russia: situation, opportunities and obstacles for implementation // Principy èkologii. 2016. Vol. 5. № 1. P. 4-23. No. 1. P. 34-44.
- Melehov I. S. Final fellings. 2-e izd., ispr. i dop. M.: Lesn. prom-st', 1966. 372 p.
- Morozov G. F. Doctrine of the forest. 7-e izd. M.; L.: Goslesbumizdat, 1949. 456 p.
- Volume of harvested timber, EMISS Gosudarstvennaya statistika. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/37848> (data obrascheniya: 27.03.2016).
- Basis of the governmental policy in the field of utilization, conservation, protection and renewal of forests for the period up to 2030 (approved by resolution of the Russian Government dated 09.26.2013, № 1724-p), Sayt Pravitel'stva Rossii. URL: <http://government.ru/media/files/41d4926bf69a218ee79f.pdf> (data obrascheniya: 12.03.2016).

- Pautov Yu. A. Demonstration route «Commercial thinning in pine forests («Odjin»)». Syktyvkar, 2013a. 29 p.
- Pautov Yu. A. Demonstration route «Forest and Man: the story of relationships («Chitaevo»)». Syktyvkar, 2013b. 29 p.
- Pautov Yu. A. Demonstration route «Mechanized clear cuttings in spruce forests («Nyula»)». Syktyvkar, 2013v. 29 p. Pautov Yu. A. Demonstration route «Clear cuttings in pine forests: short-term gain, long-term losses («Noshul»)». Syktyvkar, 2013g. 33 p.
- Pautov Yu. A. Experimental polygons № 3 and № 4 «Restoring natural pine forests by simulating natural pine-spruce fire dynamics after clear cutting and gradual cutting». Syktyvkar, 2013d. 28 p.
- Pobedinskiy A. V. Cuttings and forest regeneration in the boreal forests of USSR. M.: Lesn. prom-st', 1973. 200 p.
- Popova E. A. Pautov Yu. A. Demonstration route «Natural dynamics of boreal forest ecosystems («To Nyula»)». Syktyvkar, 2013. 29 p.
- Order of the Federal Forestry Agency (Rosleskhoz) of 1 August, 2011 № 337 Moscow «On approval of the Rules of timber harvesting», RG.RU – internet-portal «Rossiyskoy gazety». URL: <http://www.rg.ru/2012/01/20/drevesina-dok.html> (data obrascheniya: 21.02.2016).
- Collection of scientific papers on the results of researches of FGU «SevNIILH» in 2005–2009, Otv. za vypusk N. A. Demidova, R. V. Sungurov, E. A. Surina i dr. Arhangel'sk, 2011. 186 p.
- North-West Federal District, Polnomochnyy predstavitel' Prezidenta Rossiyskoy Federacii v Severo-Zapadnom federal'nom okruge. URL: <http://szfo.gov.ru/county> (data obrascheniya: 12.03.2016a). North-West Federal District, Geografiya. URL: <http://geographyofrussia.com/severo-zapadnyj-federalnyj-okrug/> (data obrascheniya: 12.03.2016b).
- Sokolov A. I. Increasing the resource potential of taiga forests by silvicultural method. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2016. 178 p.
- Facts and figures, FSC Rossiya. URL: https://ru.fsc.org/ru-ru/chto_my_delaem/facts_and_figures (data obrascheniya: 21.02.2016).
- Chabak E. Priluzie – silver taiga, Lesprominform. 2012. No. 2. P. 78–82.
- Sharlaev S. E. Valdaev V. V. Makarov D. V. Forestry plan of the Republic of Karelia: development strategy of forest use, Lesnye resursy taezhnoy zony Rossii: problemy lesopol'zovaniya i lesovosstanovleniya: Materialy 22 Il'ina O., Rodionov A. Shelterwood cuttings in the North-West of Russia: situation, opportunities and obstacles for implementation // Principy èkologii. 2016. Vol. 5. № 1. P. 4–23. Vserossiyskoy nauchnoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Petrozavodsk, 2009. C. 10–13.
- Shvarc E. A. WWF helps make the country healthy, Lesprominform. 2006. No. 4. P. 28–30.
- Yaroshenko A. Yu. On the transition from clear cuttings to selection cuttings, Lesnoy forum Grinpis Rossii. URL: <http://www.forestforum.ru/viewtopic.php?f=6&t=11212&hilit=vyborochnye+rubki> (data obrascheniya: 14.02.2016a).
- Yaroshenko A. Yu. Ministry of Natural Resources continues developing the Concept of intensive forest use and reforestation, Lesnoy forum Grinpis Rossii. URL: <http://forestforum.ru/viewtopic.php?f=9&t=18059> (data obrascheniya: 14.02.2016b).



УДК 502.52

Об элементаризации экосистемных подходов

ЯБЛОКОВ

Алексей Владимирович

РАН, Alexey.ablokov@gmail.com

Ключевые слова:
экосистемный подход

Аннотация: В процессе эволюции биосферы можно выделить микро- и макро- уровни. На уровне микро-эволюции возможно выделение элементарных эволюционных единиц, материала, факторов, событий и качественных этапов. Такая элементаризация может оказаться полезной для выяснения путей перехода к управляемой эволюции биосферы.

©Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Э. В. Ивантер

Подписана к печати: 14 апреля 2016 года

Введение

Каким образом можно перейти от современного экологического кризиса к гармоничному устойчивому существованию человека в биосфере?

Ответ на этот вопрос позволил бы конкретизировать пути возможного перехода биосферы в ноосферу – проблему, которую поставил еще В.И. Вернадский (Вернадский, 1944). В общей форме ответ ясен – человек должен перейти от стихийного влияния на биосферу к управлению антропогенными факторами, опасно нарушающими структуру и функцию биосферы (Larénis, 2002; Rockstrom, Klum, 2015 и мн. др.). Это означает переход к «управляемой эволюции» биосферы (Яблоков и др., 2015).

Аналитический обзор

Предпосылкой эффективного управления является понимание движущих сил и структур системы, которой предстоит управлять (т.е. биосферы).

Из четырех уровней организации живого (молекулярно-генетического, онтогенетического, популяционно-видового и биосферного) наибольшая методологическая ясность в выделении таких сил и структур

существует на популяционно-видовом уровне (Тимофеев-Ресовский и др., 1969).

После работ Ч. Дарвина в классической концепции эволюции было ясно, что главным фактором возникновения видов является естественный отбор. Шагнуть дальше в познании механизма эволюции позволило выделение в разномасштабном процессе эволюции (от популяций до царств) процессов микроэволюции (Dobzansky, 1937; Timofeeff-Ressovsky, 1939). Следующим шагом этого теоретического прорыва оказалось выделение элементарных структур и их взаимодействий.

Этот подход *элементаризации* позволил выделить на популяционно-видовом уровне организации жизни элементарную структуру (популяцию), элементарное явление (необратимое изменение генетического состава популяции), элементарный материал (мутации разных типов), элементарные факторы (мутационный процесс, волны численности, изоляция и естественный отбор), *качественный этап* (возникновение новых признаков и свойств - адаптаций, - приводящих к образованию нового вида). Эта элементаризация позволила успешно моделировать микроэволюционные ситуации (рис. 1).

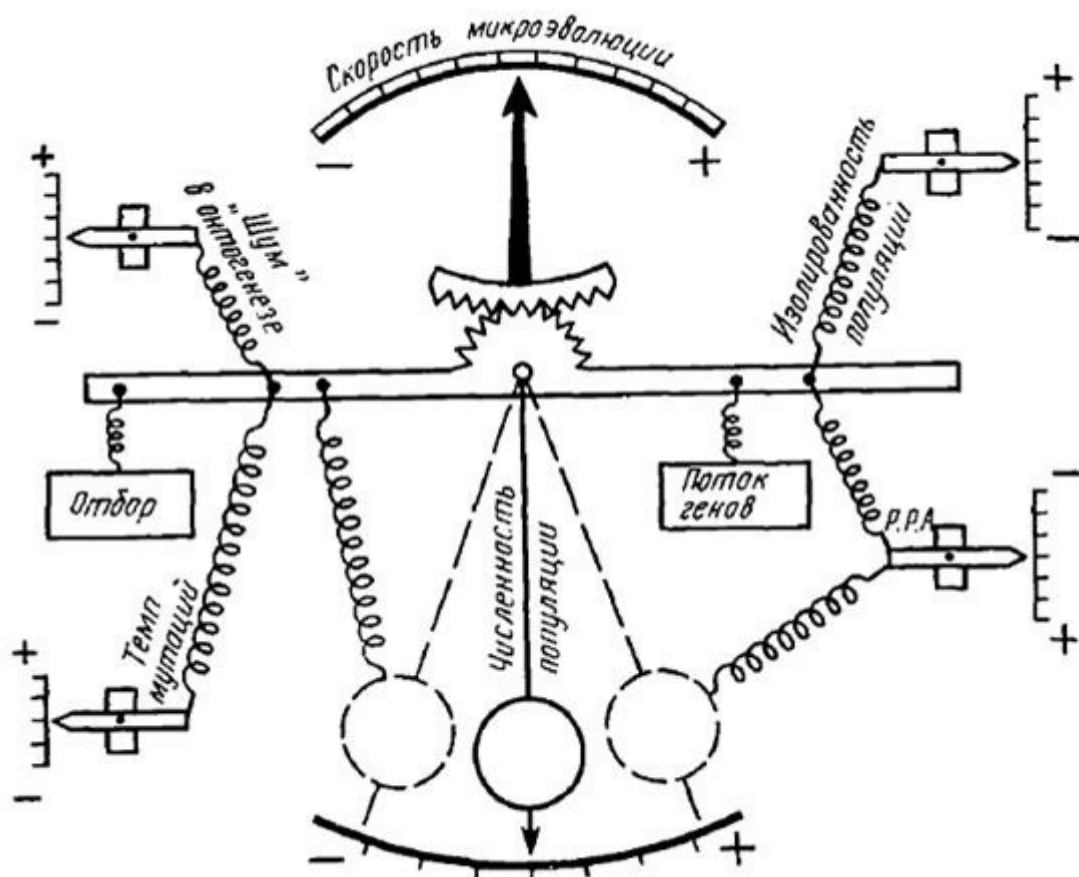


Рис 1. Схема взаимодействия эволюционных сил в процессе микроэволюции на популяционно-видовом уровне. Скорость возникновения адаптации (необратимого изменения генотипического состава популяции) является кумулятивным результатом. Р.Р.А. – радиус репродуктивной активности (дистанция переноса генов), «шум» в онтогенезе – обобщенное выражение эпигенетических процессов (из: Yablokov, 1986, по Sperlich, 1972 с изменениями).

Fig.1. The scheme of the interaction of evolutionary forces in the process of microevolution at the population-species level.

Уровень современных знаний не позволяет пока сделать аналогичную модель для биосферного уровня. Г. М. Длусский, В. В. Жерихин, В. Ф. Левченко, Р. М. May, R. Odum, Т. Н. Работнов, А. С. Раутиан, С. М. Разумовский, Я. И. Старобогатов, Ю. И. Чернов, С. С. Шварц, И. И. Шмальгаузен, Э. И. Колчинский и мн. др. в разное время предпринимали попытки выделения различных составляющих в процессе эволюции на биогеоценотическом уровне (обзоры см. Колчинский, 1990, Северцов, 2013; Пучковский, 2014, Yablokov et al., 2015).

Эволюционные события на популяционно-видовом и биосферном уровнях тесно взаимосвязаны. Возникновение любой адаптации на популяционно-видовом уровне обязательно отразится, в конце концов, в выполняемых видом биогеохимических функциях и изменении метаболизма экосистем. Возникновение нового вида означает возникновение новой эко-

логической ниши, то есть использование ресурсов, которые не использовались ранее, это - шаг в освоении живыми организмами биосферы (Gauze, 1934, Тимофеев-Ресовский, 1958). Эволюция видов, с одной стороны, определяется трофико-энергетическими связями, а с другой стороны, определяет эволюцию всей биосферы. Эта связь – один из аргументов за то, чтобы попытаться перенести подход элементаризации, успешно «сработавший» на популяционно-видовом уровне, к процессам эволюции на биосферном уровне.

Первый шаг на этом пути – выделение среди всего многообразия процессов эволюции биосферы процессов макроэволюции (эволюции всей биосферы в целом), и микроэволюции – процессов на уровне биогеоценозов.

Минимальной, далее неразложимой без потери качества, единицей на биосферном уровне оказывается биогео-

ценоз (Сукачев, Дылис, 1964, Тимофеев-Ресовский, 1970, Работнов, 1995, Тюрюканов, 2001 и мн. др.).

Биогеоценоз (БГЦ) — исторически сложившаяся, относительно стабильная в пространстве и времени (на протяжении, по меньшей мере, одного сукцессионного цикла — см. далее) экосистема на основе конкретного растительного сообщества. БГЦ занимает сравнительно крупный участок поверхности суши Земли и включает почву, растительный покров и приземный слой атмосферы (экотоп), с обитающими в этом пространстве всеми живыми существами (биоценоз). Компонентами биоценоза являются фитоценоз и зооценоз. БГЦ включает постоянно или периодически обитающих представителей множества видовых популяций практически всех царств живых организмов. Пространственные границы БГЦ могут быть размыты и подвижны во времени. Принято, что они определяются границами популяций растений-эдификаторов (т.е. тех, которые создают облик данного сообщества и существенно изменяют среду). Ареал популяций некоторых видов может включать разные БГЦ. Внутри БГЦ не проходит популяционных границ для принадлежащих ему видовых популяций. Непременной особенностью любого БГЦ является сукцессия — циклическая смена биоценозов. На каждой фазе сукцессионного цикла происходит накопление специфических для нее веществ и энергии и, тем самым, создаются условия для формирования последующей фазы и сообщества с другой композицией видовых популяций. На последнем этапе сукцессии возникает относительно устойчивый и сравнительно долго существующий биоценоз (климаксное сообщество), после деградации которого весь сукцессионный цикл повторяется.

Именно биогеоценоз оказывается *элементарной эволюционной структурой* биосферы (Тимофеев-Ресовский, 1970, и др.). Предположение (Колчинский, 1990), что видовая популяция выступает не только элементарной единицей эволюции на популяционно-видовом уровне, но и как элементарная биогеохимическая, энергетическая и трофическая единица на уровне биогеоценоза, не оправдано уже потому, что ареалы видовых популяций могут охватывать пространство многих биогеоценозов.

Есть некоторая ясность и в выделении *элементарного эволюционного события* в биосфере. В. В. Жерихин (1997) считал таковым необратимое изменение набора реализованных экологических ниш, то есть фактически — изменение видового состава биогеоценоза. В качестве рабочей гипотезы можно принять, что элементарным эволюционным событием на этом уровне является необратимое изменение видового состава биогеоценоза, означающее изменение (метаморфоз) метаболизма биогеоценоза или группы биогеоценозов.

Качественный этап микроэволюции на биосферном уровне — образование нового биогеоценоза (метаморфоз метаболизма прежнего БГЦ). Возникновение нового биогеоценоза должно быть связано с возникновением новых эволюционных дифференцировок. Образование нового БГЦ (и, по-видимому, биома на макроэволюционном биосферном уровне) определяет, скорее всего, процесс группового (ценотического) естественного отбора. Только в процессе такого отбора может пройти апробация бесчисленных сочетаний разных видовых популяций, сочетания потоков вещества и энергии в троической системе «продуцент — консумент — редуцент», и материализованные в мутуалистических (кооперативных) отношениях хищник-жертва, комменсализма, паразитизма, симбиотизма.

Естественный отбор является и на этом уровне (в форме группового отбора) направляющим эволюцию *элементарным эволюционным фактором*. Является ли он единственным элементарным фактором микроэволюции на биосферном уровне? По аналогии с процессами на популяционно-видовом уровне, эволюционными фактором может быть *изоляция* (возникновение каких-то преград в потоках вещества и энергии).

Пока нет ясности в выделении *элементарного эволюционного материала* на биосферном уровне. Возможно, на этом уровне элементарным эволюционным материалом являются видовые популяции.

В процессе микроэволюции на биосферном уровне точками приложения группового отбора могут быть либо особенности (оптимизация) потоков вещества и энергии (и информации?) в процессах метаболизма экосистем, либо, отражающий эти же процессы, видовой состав БГЦ.

Заключение

Предложенная выше схема элементаризации на биосферном уровне, включающая выделение микроэволюционного уровня эволюции биосферы и выделения на этом уровне элементарных эволюционных единиц, материала, факторов, событий

и качественных этапов, конечно, требует критического анализа и развития с привлечением фактического материала по конкретным биоценозам. Эта работа трудоемкая и потребует участие многих специалистов, но она должна быть сделана, если мы хотим перейти к управляемой эволюции биосферы.

Библиография

- Вернадский В. И. Несколько слов о ноосфере. Усп. Совр. Биол. 1944. Том 18. Вып. 2. С. 113–120.
- Жерихин В. В. Избранные труды по палеоэкологии и филогенетике. М.: КМК, 2003. 542 с.
- Колчинский Э. И. Эволюция биосферы. Историко-критический очерк исследований в СССР. Л.: «Наука», 1990. 236 с.
- Пучковский С. В. Эволюция биосистем. Факторы микроэволюции и филогенеза в эволюционном пространстве-времени. Ижевск: изд. Удмуртского университета, 2013. 444 с.
- Работнов Т. А. История фитоценологии. М.: «Аргус», 1995. 158 с.
- Северцов А. С. Эволюционная экология позвоночных животных. М.: КМК, 2013. 347 с.
- Сукачев В. Н., Дылис Н. В. Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. 574 с.
- Тимофеев-Ресовский Н. В. Микроэволюция. Элементарные явления, материал и факторы микроэволюционного процесса. Бот. Журн. 1958. Том 43. № 3. С. 317–336.
- Тимофеев-Ресовский Н. В. Структурные уровни биологических структур. В кн.: Системный подход в экологии. Системные исследования АН СССР. Институт истории естествознания и техники. М. 1970. С. 80–136.
- Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В. Краткий очерк теории эволюции. М.: «Наука», 1969. 408 с.
- Тюрюканов А. Н. Избранные труды. М.: РЭФИА, 2001. 308 с.
- Яблоков А. В. Популяционная биология. М.: Высшая Школа, 1986. 304 с.
- Dobzhansky Th. Genetics and the Origin of Species. N.Y.: Columbia Univ. Press., 1937. 364 p.
- Gauze G. F. The Struggle for Existence. Bultimore: Williams & Wilkins, 1934. 163 p.
- Lapenis A. G. Directed Evolution of the Biosphere: Biogeochemical Selection or Gaia? // Profes. Geograph. 2002. Vol. 54. N 3. pp. 379 – 391.
- Rockström J., Klum M. Big World, Small Planet: Abundance within Planetary Boundaries. New Haven: Yale University Press, 2015. 208 p.
- Sperlich D. Populationgenetik. Grundlagen und Experimentelle Ergebnisse. Stuttgart, 1973. XI+ 197 p.
- Timofeeff-Ressovsky N. W. Genetik und Evolution (Bericht einer Zoologen). Z. Indukt. Abstammungs-Vererbungs. 1939. Vol. 76. P. 158–218.
- Yablokov A.V. Population Biology. Progress and Problems of Studies on Natural Populations. M.: MIR, 1986. 304 p.
- Yablokov A., Levchenko V., Kerzhentsev A. The Decision Exists: Transition to Controlled Evolution of the Biosphere // Philosophy & Cosmology. 2015. Vol. 14. P. 91–117.

About the elementarization of ecosystem approaches

YABLOKOV Alexej

RAS, Alexey.ablokov@gmail.com

Keywords:
ecosystem approach

Summary In the evolution of the biosphere, micro- and macro-levels may be identified. At the level of microevolution it is possible to divide out the elementary evolutionary units, elementary evolutionary material, factors and quantitative stages. Such an elementarization may be useful to clarify the ways to move on to the controlled evolutionary process in the biosphere.

References

- Vernadskiy V. I. A few words about the noosphere. *Usp. Sovr. Biol.* 1944. Tom 18. Vyp. 2. P. 113–120.
- Zherihin V. V. Selected works on paleoecology and filotsenogenetics. M.: KMK, 2003. 542 p.
- Kolchinskiy E. I. SR. The evolution of the biosphere. Historical-critical essay on the research in the USSR. L.: «Nauka», 1990. 236 p.
- Puchkovskiy S. V. The evolution of biosystems. Factors of microevolution and phylogenesis in the evolutionary space-time. Izhevsk: izd. Udmurtskogo universiteta, 2013. 444 p.
- Pabotnov T. A. History phytocenology. M.: «Argus», 1995. 158 p.
- Severcov A. S. Evolutionary ecology of vertebrates. M.: KMK, 2013. 347 p.
- Sukachev V. N. Dylis N. V. Fundamentals of Forest biogeocenology. M.: Nauka, 1964. 574 p.
- Resovskiy N. V. Microevolution. Elementary phenomena, material and factors of microevolution process. *Bot. Zhurn.* 1958. Tom 43. No. 3. P. 317–336.
- Resovskiy N. V. Structural levels of biological structures. V kn.: *Sistemnyy podhod v ekologii. Sistemnye issledovaniya AN SSSR. Institut istorii estestvoznaniya i tehniki.* M. 1970. P. 80–136.
- Resovskiy N. V. Voroncov N. N. Yablokov A. V. A brief outline of the theory of evolution. M.: «Nauka», 1969. 408 p.
- Tyuryukanov A. N. Selected works. M.: REFIA, 2001. 308 p.
- Yablokov A. V. Population biology. M.: Vysshaya Shkola, 1986. 304 p.
- Dobzhansky Th. *Genetics and the Origin of Species.* N.Y.: Columbia Univ. Press., 1937. 364 p.
- Gauze G. F. *The Struggle for Existence.* Bultimore: Williams & Wilkins, 1934. 163 p.
- Lapenis A. G. Directed Evolution of the Biosphere: Biogeochemical Selection or Gaia?, *Profes. Geograph.* 2002. Vol. 54. N 3. pp. 379–391.
- Rockström J., Klum M. *Big World, Small Planet: Abundance within Planetary Boundaries.* New Haven: Yale University Press, 2015. 208 p.
- Sperlich D. *Populationgenetik. Grundlagen und Experimentelle Ergebnisse.* Stuttgart, 1973. XI+ 197 p.
- Timofeeff-Ressovsky N. W. *Genetik und Evolution (Bericht einer Zoologen).* Z. Indukt. Abstammungs-Vererbungs. 1939. Vol. 76. P. 158–218.
- Yablokov A.V. *Population Biology. Progress and Problems of Studies on Natural Populations.* M.: MIR, 1986. 304 p.
- Yablokov A., Levchenko V., Kerzhentsev A. *The Decision Exists: Transition to Controlled Evolution of the Biosphere, Philosophy & Cosmology.* 2015. Vol. 14. P. 91–117.



УДК 594.3

Скорость роста брюхоногого моллюска *Littorina littorea* L. в Кандалакшском заливе Белого моря

АКИМОВА

Евгения Владимировна

Петрозаводский государственный университет,
ambidexyou@mail.ru

ШКЛЯРЕВИЧ

Галина Андреевна

Петрозаводский государственный университет,
gash@petsu.ru

Ключевые слова:

Littorina littorea L.
скорость роста
литораль
Кандалакшский залив
Белое море

Аннотация: Изучение скорости роста моллюсков, в особенности брюхоногих, перспективное направление, помогающее понять процессы и явления, происходящие в мелководных экосистемах. Представлены результаты исследований роста брюхоногого моллюска *Littorina littorea* L., обитающего в Кандалакшском заливе Белого моря. Построены регрессионные уравнения, описывающие зависимость высоты раковины моллюска от возраста, и приведен их сравнительный анализ для двух обследованных местообитаний литорины. Установлено, что достоверных отличий между двумя выборками нет. Полученные результаты существенно дополняют сведения о биологии и экологии моллюска в конкретных условиях обитания.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Н. М. Калинкина

Получена: 08 декабря 2015 года

Подписана к печати: 28 марта 2016 года

Введение

Заповедная акватория Кандалакшского залива с населяющей ее биотой в течение многих десятилетий интенсивно исследуется как эталон морских экосистем, с акцентом на оценке состояния кормовой базы морских рыб и птиц, в том числе гаги обыкновенной *Somateria mollissima* (Дорош, 1963; Бианки и др., 1979; Краснов и др., 2009). Данная работа является частью обширного детального изучения явлений и процессов, протекающих в прибрежных морских экосистемах, по программе «Летописи природы Кандалакшского государственного природного заповедника».

Брюхоногий моллюск *Littorina littorea* L. является одним из массовых видов, обитающих на литорали Белого моря (Рубинчик, 1962; Голиков, Кусакин, 1978; Моллюски Белого моря, 1987). Литторина этого

вида редко становилась объектом исследований, ее биология и экология изучены недостаточно. Моллюск играет большую роль в морских экосистемах, т. к. является типичным представителем мелководных бентосных сообществ и важным звеном в их трофической составляющей. В качестве источника питания *Littorina littorea* использует детрит, фрагменты макроводорослей, реже животную пищу. Продукты жизнедеятельности, в частности пеллеты и слизь, выделяемая железами ноги моллюска, служат источником пищи для других гидробионтов (Бескупская, 1963; Белое море, 1995; Davies, 1999). Все *Gastropoda* в пищевом рационе гаги составляют 15 % от общего количества употребляемых этими птицами моллюсков. Конкретно на *L. littorea* приходится 5 % от общих 15 % (Бианки и др., 1979).

Рост – комплексный биологический процесс, являющийся неотъемлемой частью развития организмов и реализующийся в тесной взаимосвязи с условиями окружающей среды, в которых обитает живой объект (Мина, Клевезаль, 1976; Озернюк, Зотин, 2006; Седловская, 2012). Большинство научных работ, связанных с исследованием *L. littorea*, описывают влияние плотности популяции на скорость роста моллюсков (Kemp, Bertnees, 1984; Goodfriend, 1986; Yamada, Mansour, 1987). Темп роста литторин регулируется, прежде всего, термодинамическими условиями обитания.

L. littorea – это стенобатный, эвритермный тепловодный и стенотопный моллюск, обитающий в основном на каменистых грунтах (Федяков, 1986). Литторина придерживается нижнего горизонта литорали, иногда крупные особи можно встретить в среднем горизонте. Предпочитает температуру воды не ниже 2,5 °С, а нерест у этих моллюсков начинается при температуре не ниже 8–10 °С (Рубинчик, 1962; Федяков, 1986). Отмечено, что *L. littorea* отрицательно относится к низким значениям солености воды. У моллюска наблюдается угнетение таких процессов жизнедеятельности, как дыхание, при значении солености в

диапазоне от 10 до 15 ‰ (Бергер, 1970). Однако существуют данные, которые свидетельствуют о высокой устойчивости личинок литторин к крайне низким (8 ‰) и крайне высоким (50 ‰) значениям солености (Саранчова и др., 2006).

Непосредственно на литорали в большинстве случаев встречаются только крупные взрослые экземпляры *L. littorea* (в возрасте от 5 лет). Молодые моллюски (в возрасте до 4 лет) не могут противостоять резко изменяющимся условиям среды, которые воздействуют на все живые организмы, населяющие литораль. Поэтому особи, не достигшие пятилетнего возраста, чаще держатся ниже нуля глубин (Рубинчик, 1962; Бескупская, 1963).

Цель нашей работы – сравнить интенсивность роста брюхоногого моллюска *Littorina littorea* L. в двух местах его массового обитания в Кандалакшском заливе: о. Ряшков и Порья губа.

Материалы

Материал для исследования собирали в июле 2014 года на базе Кандалакшского государственного заповедника, на островах губы Порья и острове Ряшков (рис. 1).

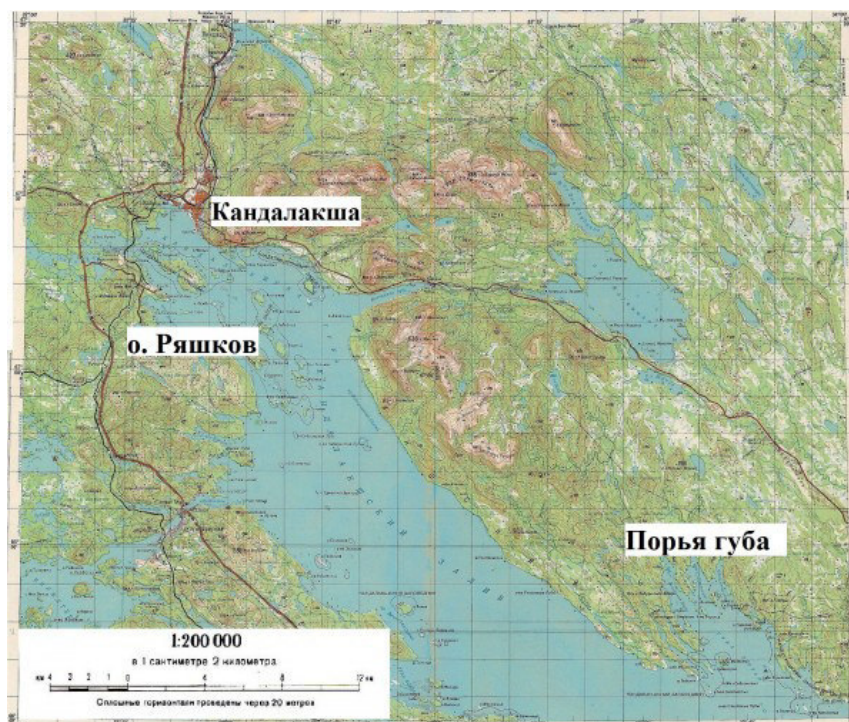


Рис. 1. Карта Кандалакшского залива Белого моря с указанием мест исследований

Fig. 1. Map of the Kandalakshsky gulf of the White Sea showing the locations of research places

Особенностью Порьей губы считается то, что холодное глубинное течение

подходит близко к поверхности воды, поэтому здесь наблюдается резко контраст-

ная стратификация температурно-солевого режима в весенне-летне-осенний период. С другой стороны, южная экспозиция губы способствует хорошему прогреванию мелководий материкового склона. Приливно-отливные течения перемешивают прогретую воду мелководий с глубинной холодной водой, что в результате создает резкие колебания гидрологических условий по сравнению с другими районами Кандалакшского залива (Шкляревич, 1998; Брызгин, 2005). Глубина Порьей губы от 20 до 80 м, максимум обнаружен в центре губы – 120 м (Шмелинг и др., 1964). Нижний горизонт литорали представлен каменистой грядой или мягкими илисто-песчаными фракциями и населен *Ascophyllum nodosum* + *Fucus vesiculosus* + *Mytilus edulis*. Остров Ряшков – один из крупных островов вершины залива, располагающийся в более мелководном районе по сравнению с Порьей губой. Вокруг острова находится отмель с глубинами менее 20 м, на которой располагаются сплошные поселения мидий *Mytilus edulis* – мидиевые банки. Нижний горизонт литорали представлен мягкими илисто-песчаными фракциями с разбросанными глыбами, населенными *Ascophyllum nodosum* + *Fucus vesiculosus* + *Mytilus edulis*.

В ходе работы собрано 199 экземпляров *Littorina littorea* L., в том числе в Порьей губе – 61, на о. Ряшков – 138 особей. При этом в расчетах использованы значения высот раковин 115 животных: в Порьей губе – 57, на о. Ряшков – 58.

Методы

В обоих местах исследования от уреза воды в момент сбора проб до нуля глубин десятикратно определены значения солёности и температуры морской воды, а затем вычислены их средние арифметические. Для определения температуры был использован термометр в металлическом чехле со стаканчиком, а для измерения плотности – ареометр. В дальнейшем значения плотности воды переводились в солёность по океанологическим таблицам (Зубов, 1957). Для иллюстрации того, что исследуемый объект чувствитель-

лен к низкой солёности, в вершине Кандалакшского залива определены ее значения в некоторых теоретически возможных местах обитания этого моллюска, а также установлено присутствие или отсутствие литорины в них.

Сбор моллюсков в обоих местах их обитания осуществлялся во время полного отлива, т. к. только в таких условиях есть возможность работать на нижнем горизонте литорали. Крупные *Littorina littorea*, как правило, держатся во время отлива на обсохших камнях, водорослях или грунте, а более мелкие экземпляры переживают временные неблагоприятные безводные условия под водорослями или в щелях между камнями. Собирались литорины непосредственно руками, каждая особь в отдельности, т. к. на литорали эти моллюски находятся разрозненно и легко отделяются от субстрата. Во время сбора литорины помещались в небольшие пластиковые контейнеры с морской водой, чтобы животные при транспортировке к месту лабораторной обработки не потеряли в весе и не погибли. При этом пробы содержались в прохладном месте. Временной интервал между работой на литорали и началом работы в лаборатории не превышал трех часов.

Обработка материала сводилась к измерению у каждого моллюска высоты раковины с помощью штангенциркуля (точность 0.1 мм) (рис. 2а). Кроме того, определялся возраст каждого моллюска. Методика определения возраста основана на подсчете годовых колец, или отметок на поверхности раковины, которые образуются каждый год во время зимней приостановки роста (рис. 2б) (Алимов и др., 1990).

Математическая обработка материала сводилась к построению линий и уравнений регрессии с использованием пакета анализа данных в среде MS Excel. При этом была использована криволинейная регрессия. Нелинейная форма связи характеризуется следующей особенностью: равномерное изменение одного признака сопровождается неравномерным изменением значения другого признака (Коросов, Горбач, 2010; Ивантер, Коросов, 2011).



Рис. 2. Измерение высоты раковины (а); раковина *Littorina littorea* L. с годовыми отметками (б)
 Fig. 2. Measurement of shell height (a); shell of *Littorina littorea* L. with annual marks (b)

Работа с криволинейной регрессией заключалась в преобразовании (логарифмировании) исходных эмпирических данных, на основе которых был осуществлен линейный регрессионный анализ, произведена оценка значимости коэффициентов регрессии (критерий Стьюдента) и адекватности выбранной модели (критерий Фишера). После обратного преобразования коэффициентов линейной регрессии были построены уравнения криволинейной регрессии.

Линии регрессии построены на основе значений высот раковин моллюсков в возрастном диапазоне от 6 до 12 лет, т. к. представители данных возрастных группировок присутствуют в обеих выборках.

Методика сравнения коэффициентов регрессии заключалась в оценке гипотезы об одинаковом положении линий регрессии относительно осей координат с помощью критерия Стьюдента. При этом были определены суммы квадратов отклонений значений независимой переменной от своих средних с помощью статистической функции в среде Excel, рассчитаны значения остаточной дисперсии для каждой выборки и общей остаточной дисперсии, а также значение обобщенной ошибки коэффициентов регрессии. Оценка значимости отличий коэффициентов производилась по формуле:

$$T = a_1 - a_2 / m_{a1,2}$$

где T – значение критерия Стьюдента, $a_1 - a_2$ – разница коэффициентов уравнений регрессии, $m_{a1,2}$ – обобщенная ошибка коэффициентов регрессии (Иван-

тер, Коросов, 2011). Обобщенная ошибка вычисляется по формуле:

$$\text{Собщ.} = \sqrt{1/Cx1 + 1/Cx2}$$

где Собщ. – общая остаточная дисперсия, $Cx1$ и $Cx2$ – сумма квадратов отклонений x от своих средних. Общая остаточная дисперсия рассчитывается посредством извлечения квадратного корня из выражения:

$$((n1 - 2) \cdot C_{\text{ост1}}^2 + (n2 - 2) \cdot C_{\text{ост2}}^2) / (n1 + n2 - 4),$$

где n – объем выборки, а $C_{\text{ост1}}^2$ и $C_{\text{ост2}}^2$ – величина остаточной дисперсии для каждой выборки.

Кроме того, для каждой линии регрессии определен доверительный интервал (область, в которой с вероятностью 95 % находится истинная линия регрессии), интервал прогноза (область, в пределах которой с вероятностью 95 % ожидаются новые значения вариант) и выполнено прогнозирование значений зависимой переменной (y) путем подстановки в уравнение регрессии соответствующих значений независимой переменной (x). Границы доверительного интервала и интервала прогноза рассчитывались по формулам, предложенным в учебном пособии Э. В. Ивантера и А. В. Коросова (2011). Формула расчета границ доверительного интервала линии регрессии:

$$y_i \pm T \cdot m_{y_i}, \text{ где}$$

$$T \cdot m_{y_i} = T \cdot m_y \cdot \sqrt{1/n + ((x_i - Mx)^2) / Cx}$$

, y_i – значение, рассчитанное по уравнению регрессии для x_i , T – нормированное от-

клонение (критерий Стьюдента) при заданном уровне значимости (α) 0.05 и числе степеней свободы (df) $n - 1$, m_{yi} – ошибка линии регрессии, n – объем выборки, $(x_i - Mx)^2$ – мера отклонения значения x_i от средней Mx , Sx – сумма квадрата отклонений всех значений x от своей средней Mx . Границы интервала прогноза найдены по формуле:

$$y_i \pm T \cdot S_{yi}, \text{ где} \\ T \cdot S_{yi} = T \cdot m_{yi} \sqrt{1 + 1/n + ((x_i - Mx)^2 / Cx)}, \\ S_{yi} - \text{расчетное значение признака } y.$$

Оценка адекватности модели исходным эмпирическим данным произведена с помощью дисперсионного анализа.

Расчет средних арифметических значений размеров высоты раковины моллюсков произведен для тех возрастных рядов, количество особей в которых ≥ 4 . Достоверность отличий между значениями средних размеров раковин моллюсков из разных мест обитания оценивалась с помощью критерия Стьюдента.

Результаты

Температурные и соленостные условия – фундаментальные факторы среды, регулирующие темпы роста исследуемого объекта. Среднее значение солености воды для о. Ряшков составило 17.76 ‰, температуры – 17.11 °С. Для вод Порьей губы среднее значение солености – 20.64 ‰, а температуры – 14.92 °С. В кутовой части залива зафиксированные нами значения солености находятся в пределах от 2 до 12 ‰: юго-западный мыс эстуария реки Нива – 1.36 ‰; о. Овечий – 10.28 ‰; о. Малый – 10.94 ‰; о. Еловый – 11.20 ‰. Поэтому *Littorina littorea* не встречается на литорали в этом районе, где морские поверхностные воды периодически подвергаются сильному опреснению.

В обоих местах исследования были обнаружены моллюски в возрасте от 3 до 12 лет. На о. Ряшков найдена одна двухлетняя особь и в целом выявлено преобладание моллюсков в возрасте от 3 до 6 лет. Сравнение средних значений высоты раковины *L.littorea* показало, что шести-, девяти- и десятилетние особи из Порьей губы крупнее таковых с о. Ряшков (табл. 1).

Таблица 1. Средние значения высоты раковины *Littorina littorea* L. в каждом возрастном ряду и их статистическая оценка

r	о. Ряшков		Порья губа		df	Tэ	Tt _(0.05)
	n	M±m	n	M±m			
2	1	11.00	0				
3	32	11.30±0.21	1	14.40			
4	30	13.38±0.26	2	13.90 17.10			
5	18	16.39±0.38	1	22.40			
6	11	18.25±0.33	4	20.68±1.04	13	2.22711	2.16037
7	10	20.64±0.53	13	21.55±0.43	21	1.33334	2.07961
8	6	23.23±0.69	15	24.09±0.38	19	1.09176	2.09302
9	10	24.23±0.37	10	26.26±0.40	18	3.72555	2.10092
10	12	24.65±0.31	8	27.24±0.55	18	4.10233	2.10092
11	6	26.92±0.69	4	27.78±0.84	8	0.79112	2.306
12	2	29.10 29.30	3	28.70 30.10 36.40			

Примечание: r – возраст; n – количество особей в возрастном ряду; M±m – среднее значение высоты раковины в возрастном ряду с доверительным интервалом; df – число степеней свободы; Tэ – эмпирическое значение критерия Стьюдента; Tt – теоретическое значение критерия Стьюдента (в скобках заданный уровень значимости).

Зависимость размеров особей от возраста в разных местообитаниях изучали с помощью регрессионного анализа (рис. 3). Выбранная модель ($y = b \times x^a$) адекватно описывает эмпирические данные, это говорит о том, что зависимость между признаками есть. Расчетное значение критерия Фишера для выборки из Порьей губы составляет 117.48 и превышает теоретическое

4.02. Судя по коэффициенту детерминации (0.68) вариация значения высоты раковины моллюсков на 68 % объясняется вариацией независимой переменной – возраста. Для выборки с о. Ряшков теоретическое значение критерия (4.013) меньше расчетного (173.66), коэффициент детерминации составил 0.75.

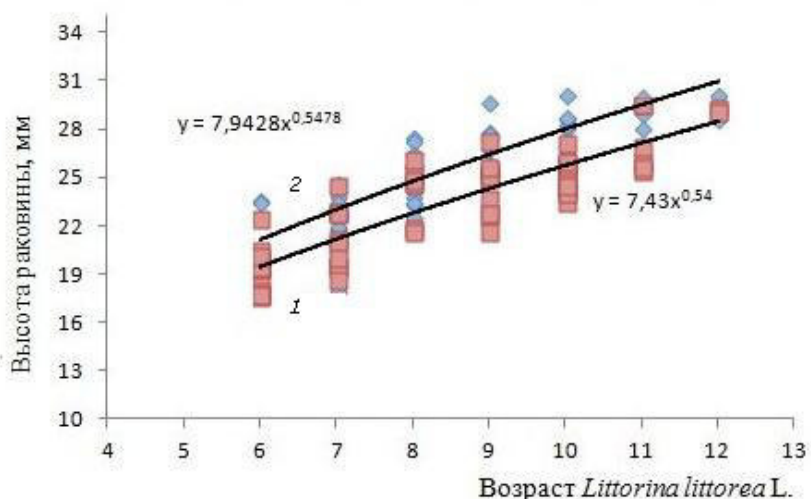


Рис. 3. Модели, описывающие зависимость высоты раковины от возраста моллюска: $y = 7.43x^{0.54}$ для моллюсков с о. Ряшков (1), $y = 7.9428x^{0.5478}$ для моллюсков Порьей губы (2)
 Fig. 3. Models describing the dependence of the height of shell on its age: $y = 7.43x^{0.54}$ for *Littorina littorea* from the island Ryachkov (1), $y = 7.9428x^{0.5478}$ for mollusks from the Porya Bay (2)

Расчетные значения критерия Стьюдента для коэффициентов a и b в уравнении 1 (о. Ряшков) составили 13.17 и 22.44 соответственно при теоретическом значении критерия 2.003. Оба коэффициента уравнения 2 (Порья губа) также значимо отличаются от нуля: вычисленное значение критерия для коэффициента a составило 10.78, для b – 19.02. Табличное значение критерия Стьюдента при уровне значимости 0.05 равняется 2.004.

Ключевым моментом работы являлось сравнение коэффициентов регрессии. Согласно формулам, получили расчетные значения: $Собщ. = 0.304$, $та_{1,2} = 0.0164$, $T = 0.47$, $Tt(0.05;111) = 1.98$.

Коэффициенты регрессионных уравнений достоверно не отличаются.

В результате точечного прогноза значений y_i вычислен доверительный интервал и интервал прогноза для среднего значения высоты раковины в каждом значении x (возраста моллюска) (табл. 2).

Таблица 2. Доверительный интервал и интервал прогноза теоретического значения высоты раковины моллюска для каждого значения возраста

Возраст	о. Ряшков		Порья губа	
	Зона доверительного интервала ($T \cdot m y_i$)	Зона интервала прогноза ($T \cdot S y_i$)	Зона доверительного интервала ($T \cdot m y_i$)	Зона интервала прогноза ($T \cdot S y_i$)
6	19.55±0.35	19.55±1.65	21.19±0.52	21.19±2.17
7	21.25±0.27	21.25±1.63	23.06±0.38	23.06±2.14
8	22.84±0.21	22.84±1.63	24.81±0.29	24.81±2.12
9	24.34±0.22	24.34±1.63	26.47±0.29	26.47±2.12

Таблица 2.Продолжение

Возраст	о. Ряшков		Порья губа	
	Зона доверительно-го интервала ($T \cdot m y_i$)	Зона интервала прогноза ($T \cdot S y_i$)	Зона доверительного интервала ($T \cdot m y_i$)	Зона интервала прогноза ($T \cdot S y_i$)
10	25.76±0.28	25.76±1.64	28.04±0.38	28.04±2.14
11	27.12±0.36	27.12±1.65	29.54±0.52	29.54±2.17
12	28.43±0.46	28.43±1.68	30.98±0.68	30.98±2.21

Таким образом, среднее значение высоты раковины моллюсков с о. Ряшков, например, в шестилетнем возрасте с надежностью 95 % будет находиться в интервале от 19.2 до 19.9 мм, а при условии увеличения числа наблюдений прогнозируемое значение высоты

раковины будет находиться в интервале от 17.9 до 21.2 мм. Доверительный интервал линии регрессии и интервал прогноза новых значений высоты раковины моллюсков с о. Ряшков и из Порьей губы имеет вид (рис. 4, 5).

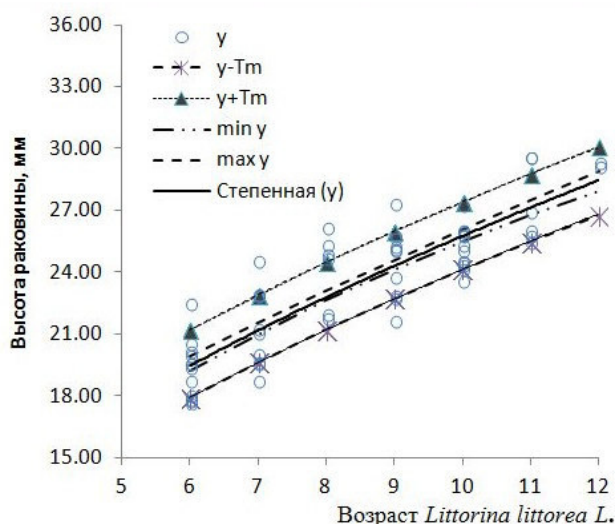


Рис. 4. Линия регрессии (y), ее доверительный интервал ($\min y$; $\max y$) и интервал прогноза ($y-Tm$; $y+Tm$) для модели $y_i = 7.43x0.54$ (о. Ряшков)

Fig. 4. The regression line (y), its confidence interval ($\min y$; $\max y$) and forecast interval ($y-Tm$; $y+Tm$) for the model $y_i = 7.43x0.54$ (the island Ryachkov)

Дисперсионный анализ показал, что расчетное значение критерия Фишера для модели $y_i = 7.43x^{0.54}$ (171.21) и $y_i = 7.9429x^{0.5478}$ (120.28) превышает табличное значение 4.013 и 4.02 соответственно.

Исходя из подробного анализа регрессионные модели для обеих выборок адекватно описывают зависимость высоты раковины от возраста моллюска.

Обсуждение

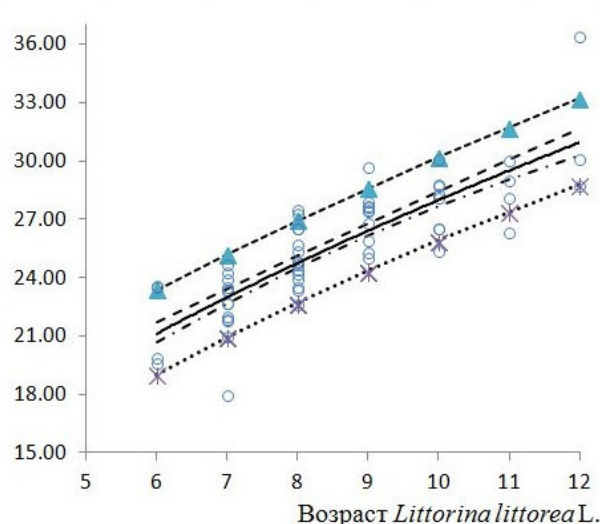


Рис. 5. Линия регрессии (y), ее доверительный интервал ($\min y$; $\max y$) и интервал прогноза ($y-Tm$; $y+Tm$) для модели $y_i = 7.9429x0.5478$ (Порья губа)

Fig. 5. The regression line (y), its confidence interval ($\min y$; $\max y$) and forecast interval ($y-Tm$; $y+Tm$) for the model $y_i = 7.9429x0.5478$ (the Poria Bay)

Изучение экологии морских гидробионтов сводится к исследованию таких процессов жизнедеятельности, которые корректируются изменяющимися условиями водной среды. Главным образом на морские литоральные организмы оказывают влияние температура и соленость воды, а также гидродинамическая активность и обеспеченность питанием.

Littorina littorea – пойкилотермный организм, поэтому говорить о том, что температура не оказывает на него влияния,

бесмысленно. Как показали наши исследования, на о. Ряшков среднее значение температуры морской воды выше такового в Порьей губе. Известно, что губа Порья характеризуется поднятием глубинных холодных вод, что сказывается на температуре поверхностной воды. В кутовой части залива зафиксированные нами значения солености находятся в пределах от 2 до 12 ‰. Причиной сильного опреснения, прежде всего, является то, что в этом месте в Белое море впадает сразу несколько крупных рек: Нива, Лупче-Савино, Нижняя Лувеньга. Особи *Littorina littorea* в местах, где было произведено измерение солености воды, обнаружены не были. Остров Ряшков располагается мористее, и воды, омывающие его, имеют усредненное значение солености 17,76 ‰. Тогда как в Порьей губе – 20,64 ‰. Это, с одной стороны, можно объяснить интенсивностью перемешивания поверхностных и глубинных (более соленых) вод в Порьей губе, с другой – близостью расположения губы к Баренцеву морю, в котором воды имеют более высокие значения солености по сравнению с водами Белого моря.

Исходя из вышесказанного, соленость воды является определяющим фактором среды для *Littorina littorea*, и моллюски из Порьей губы находятся в более благоприятных соленостных условиях.

Исследование показало, что интенсивность роста *Littorina littorea* в двух местах ее массового обитания в Кандалакшском заливе достоверно не отличается. Статистическая значимость модели, описывающей зависимость высоты раковины моллюска от возраста, подтверждена тремя способами: при доказательстве адекватности модели, отражающей зависимость исходных величин высот раковин от возраста, при оценке значимости коэффициентов уравнений регрессии и при построении доверительных интервалов и интервалов прогнозов с последующей оценкой адекватности теоретической модели.

Если обратиться к рис. 3, видно, что сравниваемый коэффициент уравнения, построенного на основе данных высоты раковины моллюсков из Порьей губы, не-

сколько больше, и расположение кривой роста на графике выше. Как видно из табл. 1, средние значения высоты раковины моллюсков в Порьей губе больше таковых с острова Ряшков. В трех возрастных рядах (6, 9, 10 лет) отличия между средними арифметическими оказались значимы. Исходя из этого можно ожидать, что скорость роста *Littorina littorea* на островах Порьей губы будет выше. Для того чтобы была возможность представить дополненную картину скорости роста моллюсков в этих двух местах обитания, необходимо в будущем исследовании акцентировать внимание на молодых моллюсках в возрасте от 2 до 5 лет.

На сегодняшний день мы располагаем фактическими данными только по солености и температуре морской воды в местах обитания *Littorina littorea*. Следует планировать продолжение и совершенствование исследований.

Заключение

Зависимость высоты раковины моллюсков от их индивидуального возраста удовлетворительно описывается уравнениями криволинейной регрессии, а скорость роста – линиями регрессии. В Кандалакшском заливе в двух местах массового обитания исследуемого объекта (о. Ряшков и губа Порья) темпы роста моллюсков достоверно не различаются. Отмечено, что при пополнении выборки из Порьей губы значениями высот раковин особей в возрасте от 2 до 5 лет в этом месте обитания можно ожидать более ускоренный темп роста животных по сравнению с о. Ряшков. Кроме того, показано, что соленость воды – фактор, который влияет на распространение моллюсков в Кандалакшском заливе: при значении солености поверхностных вод ниже 12 ‰ *Littorina littorea* на литорали обнаружены не были.

Таким образом, изучение скорости роста *Littorina littorea* существенно дополняет сведения о биологии и экологии моллюска в конкретных условиях обитания.

Библиография

Алимов А. Ф., Макарова Г. Е., Максимович Н. В. Методы изучения двустворчатых моллюсков. Л.: Изд-во Зоологического ин-та АН СССР, 1990. 196 с.

- Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования / Под. ред. О. А. Скарлато. Ч. 1. СПб.: Изд-во Зоологического ин-та РАН, 1995. 250 с.
- Бергер В. Я. Дыхание некоторых литоральных моллюсков в процессе акклиматизации к изменениям солености воды // Экология. № 5. Свердловск: Наука, 1970. С. 68–72.
- Бескупская Т. И. Питание некоторых массовых литоральных беспозвоночных Белого моря // Труды Кандалакшского заповедника. Труды биологической станции МГУ. 1963. Вып. 4. Т. 2. С. 135–169.
- Бианки В. В., Бойко Н. С., Нинбург Е. А., Шкляревич Г. А. Питание обыкновенной гаги Белого моря // Экология и морфология гаг в СССР. М.: Наука, 1979. С. 126–170.
- Брязгин В. Ф. *Crustacea* мелководной Порьей губы Кандалакшского залива Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря: Материалы 9-й междунар. конф. 11–14 октября 2004 года. Петрозаводск, 2005. С. 67–71.
- Голиков А. Н., Кусакин О. Г. Раковинные брюхоногие моллюски литорали морей СССР. Л.: Наука, 1978. 292 с.
- Дорosh Е. П. Запасы кормовых беспозвоночных для птиц и рыб на литорали островов Кандалакшского залива Белого моря // Труды Кандалакшского заповедника. 1963. Вып. 4. С. 54–67.
- Зубов Н. Н. Океанологические таблицы. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1957. 406 с.
- Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию: Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. 302 с.
- Краснов Ю. В., Шкляревич Г. А., Горяцев Ю. И. Характер и особенности питания обыкновенной гаги *Somateria mollissima* в Белом море // Доклады Академии наук. 2009. № 2. С. 282–285.
- Коросов А. В., Горбач В. В. Компьютерная обработка биологических данных: Метод. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. 84 с.
- Мина М. В., Клевезаль Г. А. Рост животных: анализ на уровне организма. М.: Наука, 1976. 291 с.
- Моллюски Белого моря / Под ред. О. А. Скарлато. Л.: Наука, 1987. 328 с.
- Озернюк Н. Д., Зотин А. А. Сравнительный анализ роста мидий *Mytilus edulis* из разных районов Белого моря // Известия РАН. Сер. биологическая. 2006. № 2. С. 188–192.
- Рубинчик М. А. К биологии размножения *Littorina littorea* L. Белого моря // Биология Белого моря. Т. 1. М.: Изд-во МГУ, 1962. С. 215–230.
- Саранчова О. Л., Ушакова О. О., Беляева Д. В. Устойчивость личинок массовых видов беспозвоночных Белого моря к экстремальному изменению солености // Биология моря. СПб., 2006. Т. 32. № 6. С. 428–435.
- Седловская С. М. Рост и продуктивность беспозвоночных животных: Метод. рекомендации. Витебск: УО «ВГУ им. П. М. Машерова», 2012. 48 с.
- Федяков В. В. Закономерности распределения моллюсков Белого моря. Л., 1986. 126 с.
- Шкляревич Г. А. Водоросли и беспозвоночные животные мелководий Порьей губы // Материалы по разнообразию биоты Кандалакшского заповедника – 1 / Под. ред. А. С. Корякина. Кандалакша, 1998. С. 12–78.
- Шмелинг Г., Шилов Ю., Дракин А. Лоция Белого моря. URL: http://parusa.narod.ru/bib/books/ws_loc (дата обращения 21.12.2015).
- Davies M. Role of mucus-trails and trail-following in the behavior and nutrition of the periwinkle *Littorina littorea* // Ecology Centre University of Sunderland. Marine Ecology Progress series of the United Kingdom, 1999. Vol. 179. P. 247–257.
- Goodfriend G. A. Variation in land-snail form and size and causes: a review // Systematic Zoology. 1986. Vol. 35. P. 204–223.
- Kemp P., Bertness M. D. Snail shape and growth rates: evidence for plastic shell allometry in *Littorina littorea* // Proceeding of the National Academy of Sciences USA. 1984. Vol. 81. P. 811–813.
- Yamada S. B., Mansour R. A. Growth inhibition of native *Littorina saxatilis* (Olivi) by introduced *L. littorea* // Exp. Marine Biology and Ecology. 1987. Vol. 105. P. 187–196.

Благодарности

Авторы выражают благодарность администрации Кандалакшского государственного природного заповедника за предоставление возможности осуществить данное исследование. Авторы благодарят А. В. Коросова за помощь в математической обработке данных и участие в обсуждении полученных результатов.

Growth rate of the gastropod *Littorina littorea* L. in the Kandalakshsky Gulf of the White Sea

AKIMOVA
Evgeniya

Petrozavodsk State University, ambidexyou@mail.ru

SHCLYAREVICH
Galina

Petrozavodsk State University, gash@petrsu.ru

Key words:

Littorina littorea L.
growth rate
litoral
the Kandalakshsky Gulf
The White Sea

Summary: The study of the growth of mollusks, especially buccinid gastropod is a prospective research direction in biology, which helps to understand the processes in shallow-water ecosystems. The growth rate characterizes the state of the population, and the conditions of its habitat. *Littorina littorea* L. is an important component of the intertidal community. Some sea birds such as *Somateria mollissima* and *Haematopus ostralegus* use these mollusks as food. However, there are a little information about biology and ecology of *Littorina littorea*. The aim of this study was to evaluate the status of the *Littorina littorea* population by examining the growth rate of individuals in the sample. To conduct the study of *Littorina littorea*, 199 individuals were collected: 61 - in the Porya bay and 138 - in the island of Ryashkov. The data were processed using the method of regression analysis. The regression lines describing dependence of the height of the shells in each clam on their age were plotted and compared for two studied habitats of *Littorina littorea*. The results showed no significant difference between the two studied samples regarding the mollusks shell height. The obtained data substantially complement the information on biology and ecology of *Littorina littorea* in particular habitats.

References

- Alimov A. F. Makarova G. E. Maksimovich N. V. Methods for studying bivalves. L.: Izd-vo Zoologicheskogo in-ta AN SSSR, 1990. 196 p.
- The White Sea. Biological resources and problems of their rational use, Pod. red. O. A. Skarlato. Ch. 1. SPb.: Izd-vo Zoologicheskogo in-ta RAN, 1995. 250 p.
- Berger V. Ya. The respiration of some littoral mollusks in the process of acclimation to the changes in salinity, *Ekologiya*. No. 5. Sverdlovsk: Nauka, 1970. P. 68–72.
- Beskupskaya T. I. The mass food of some intertidal invertebrates of the White sea, *Trudy Kandalakshskogo zapovednika. Trudy biologicheskoy stancii MGU*. 1963. Vyp. 4. T. 2. P. 135–169.
- Bianki V. V. Boyko N. S. Ninburg E. A. Shklyarevich G. A. Diet of common eider of the White sea, *Ekologiya i morfologiya gag v SSSR*. M.: Nauka, 1979. P. 126–170.
- Bryazgin V. F. Crustacea of the Porya Bay, Kandalakshsky Bay of the White sea, *Problemy izucheniya, racional'nogo ispol'zovaniya i ohrany resursov Belogo morya: Materialy 9-y mezhdunar. konf. 11–14 oktyabrya 2004 goda*. Petrozavodsk, 2005. P. 67–71.
- Golikov A. N. Kusakin O. G. Shell-bearing gastropods of the intertidal zone of the seas of the USSR. L.: Nauka, 1978. 292 p. 79 Akimova E., Shclyarevich G. Growth rate of the gastropod *Littorina littorea* L. in the Kandalakshsky Gulf of the White Sea. // *Principy èkologii*. 2016. Vol. 5. № 1. P. 69–80.
- Dorosh E. P. The supply of forage invertebrates to birds and fish in the littoral Islands of the Kandalakshsky Bay of the White sea, *Trudy Kandalakshskogo zapovednika*. 1963. Vyp. 4. P. 54–67.
- Zubov N. N. The Oceanological tables. L.: Gidrometeorologicheskoe izd-vo, 1957. 406 p.
- Ivanter E. V. Korosov A. V. The introduction to quantitative biology: a training manual. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2011. 302 p.

- Krasnov Yu. V. Shklyarevich G. A. Goryacev Yu. I. The character and peculiarities of feeding of common eider *Somateria mollissima* in the White sea, *Doklady Akademii nauk*. 2009. No. 2. P. 282–285.
- Korosov A. V. Gorbach V. V. Computer processing of biological data: methodical manual. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2010. 84 p.
- Mina M. V. Klevezal' G. A. Growth of animals: analysis at the level of organism. M.: Nauka, 1976. 291 p.
- The molluscs of the White sea / Pod red. O. A. Skarlato. L.: Nauka, 1987. 328 p. Ozernyuk N. D. Zotin A. A. Comparative analysis of growth of mussels *Mytilus edulis* from different White sea regions, *Izvestiya RAN. Ser. biologicheskaya*. 2006. No. 2. P. 188–192.
- Rubinichik M. A. To the biology of reproduction of *Littorina littorea* L. in the White sea, *Biologiya Belogo morya*. T. 1. M.: Izd-vo MGU, 1962. P. 215–230.
- Saranchova O. L. Ushakova O. O. Belyaeva D. V. Resistance of larvae of mass species of White sea invertebrates to extreme changes in salinity, *Biologiya morya*. SPb., 2006. T. 32. No. 6. P. 428–435.
- Sedlovskaya S. M. Growth and productivity of invertebrates: guidelines. Vitebsk: UO «VGU im. P. M. Masherova», 2012. 48 p.
- Fedyakov V. V. Regularities of distribution of molluscs of the White sea. L., 1986. 126 p. Shklyarevich G. A. Algae and invertebrates of the shallow waters of the Porya Bay, *Materialy po raznoobraziyu bioty Kandalakshskogo zapovednika – 1*, Pod. red. A. P. Koryakina. Kandalaksha, 1998. P. 12–78.
- Shmeling G. Shilov Yu. Drakin A. The sailing in the White sea. URL: http://parusa.narod.ru/bib/books/ws_loc (data obrascheniya 21.12.2015).
- Davies M. Role of mucus-trails and trail-following in the behavior and nutrition of the periwinkle *Littorina littorea*, *Ecology Centre University of Sunderland. Marine Ecology Progress series of the United Kingdom*, 1999. Vol. 179. P. 247–257.
- Goodfriend G. A. Variation in land-snail form and size and causes: a review, *Systematic Zoology*. 1986. Vol. 35. P. 204–223.
- Kemp P., Bertness M. D. Snail shape and growth rates: evidence for plastic shell allometry in *Littorina littorea*, *Proceeding of the National Academy of Sciences USA*. 1984. Vol. 81. P. 811–813.
- Yamada S. B., Mansour R. A. Growth inhibition of native *Littorina saxatilis* (Olivi) by introduced *L. littorea*, *Exp. Marine Biology and Ecology*. 1987. Vol. 105. P. 187–196. Powered by TCPDF (www.tcpdf.org) 80



УДК 528.8:58.002

Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова.

КОМАРОВА

Анна Федоровна

Гринпис России, anna.komarova@greenpeace.org

ЖУРАВЛЕВА

Илона Вячеславовна

Гринпис России, ilona.zhuravleva@greenpeace.org

ЯБЛОКОВ

Василий Михайлович

Гринпис России, vasily.yablokov@greenpeace.org

Ключевые слова:

космические снимки
картографирование
растительные сообщества
методика исследований

Аннотация: Показаны возможности использования мультиспектральных данных дистанционного зондирования Земли для целей изучения растительного покрова. В статье рассмотрено использование открытых данных видимого и инфракрасного диапазонов. Представлены возможные пути бесплатного получения космических снимков разного разрешения, их характеристики и область применения. Изложены основные методы анализа космических снимков. Информация конкретизирована литературными данными, а также на примере проектов, выполненных в Гринпис России.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: В. В. Майлс

Рецензент: А. А. Коросов

Получена: 04 марта 2016 года

Подписана к печати: 05 апреля 2016 года

Введение

Анализ данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – перспективный метод изучения растительного покрова (Хе et al., 2008; Nomolova et al., 2013). Космические снимки отличаются от всех других пространственных данных (топографических карт, лесоустроительных карт и др.) разнообразием информации, которую можно получить на их основе, большей доступностью и актуальностью за счет регулярности обновления. Они незаменимы как

основа для экстраполяции данных в региональных и глобальных исследованиях, а также в случаях, когда необходимо проследить изменение свойств растительного покрова во времени (Расказов, Галаганова, 2014), в мониторинговых исследованиях и при анализе угроз (Пузаченко и др., 2011; Климина, Остроухов, 2011; Gavier-Pizarro et al., 2012; Nagendra et al., 2013; Petrou et al., 2015; Chen et al., 2015; Turner et al., 2015; Buchanan et al., 2015). Как следствие, в по-

следние годы появляется все больше исследований растительного покрова и его отдельных свойств на основе данных дистанционного зондирования (Барталев, Лупян, 2013). Космические снимки заняли свое законное место в изучении лесных сообществ (McRoberts et al., 2010; Banskota et al., 2014 и мн. др.), широко применяются для изучения водной и околородной растительности (Silva et al., 2008 и др.), растительного покрова болот (Ozesmi, Bauer, 2002; Krankina et al., 2008; Klemas, 2011; Антипин, Токарев, 2012; Gallant, 2015), высокогорий и тундр (Stow et al., 2004). Активно развиваются методы оценки биологического разнообразия (Gould, 2000; Turner et al., 2003; Gillespie et al., 2008; Исаев, Черненькова, 2009; Rocchini et al., 2010; Черненькова и др., 2012; Kuenzer et al., 2014; Leitão et al., 2015; Rocchini et al., 2015a; Turner et al., 2015) и распространения отдельных видов, как правило, редких (Елсаков и др., 2010; Parviainen et al., 2013; Ханов, Пшегусов, 2014; Cord et al., 2014 и др.) или инвазивных (Huang, Asner, 2009; Bradley, 2014; Rocchini et al., 2015b и др.) с привлечением ДЗЗ. Экскурс в историю использования дистанционных методов в изучении растительного покрова и частичный обзор отечественных работ в этой области приведены в статье Т. А. Поповой и И. А. Бычковой (Попова, Бычкова, 2011). Предложена общая схема организации мониторинга природных объектов с использованием ДЗЗ (Пузаченко и др., 2008).

Вместе с тем, на наш взгляд, в среде специалистов-биологов возможности анализа космических снимков до сих пор используются недостаточно. Вероятно, это связано с недостатком обобщенной информации об этом инструменте и примерах его использования, а также отсутствием понятного алгоритма, как выбрать данные для решения конкретной задачи; какие методы и программное обеспечение могут оказаться полезными. В данной статье показано, где можно бесплатно получить космические снимки и консультацию по их использованию и какое программное обеспечение можно использовать для решения различных задач.

Статья дает представление о способах анализа данных дистанционного зондирования для изучения растительного покрова, основанное на литературных источниках и опыте проведения ряда исследова-

тельских проектов с использованием ДЗЗ в лесном и ГИС-отделах Гринпис России, на кафедре геоботаники биологического факультета и на географическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова.

Цель статьи – представить обзор наиболее часто используемых для картографирования и мониторинга данных дистанционного зондирования. Рассмотрены именно открытые данные, при выборе методов для рассмотрения отдавалось предпочтение тем из них, алгоритмы которых реализованы в программных пакетах, доступных для получения некоммерческими или научными организациями на безвозмездной основе. Отдельный раздел статьи посвящен методам оценки точности полученного с помощью ДЗЗ результата, что особенно важно при исследовании растительных сообществ.

Безусловно, количество и разнообразие данных дистанционного зондирования и методов их анализа невозможно полностью рассмотреть в одной статье; кроме того, статья предназначена именно для знакомства с данными и методами ДЗЗ в применении к исследованию растительного покрова. Поэтому за пределами обсуждения остались данные низкого разрешения, гиперспектральные данные, имеющие очень высокую стоимость, радарные данные, использование которых сейчас набирает популярность, но пока все-таки уже, чем данных в оптическом диапазоне; не рассмотрены вопросы радиометрической и геометрической (в широком смысле этих терминов) коррекции изображений, очень кратко освещен вопрос спектральных преобразований, не рассматриваются методы автоматизированного анализа изображений, относящиеся к сегментации, т. к. они реже применяются в изучении естественных сообществ и больше используются как метод картографирования антропогенных объектов. Эти вопросы, так же как и большинство обсуждаемых методов, в общем виде подробно рассмотрены в основных учебниках по дистанционному зондированию (Книжников и др., 2004; Чандра, Гош, 2008; Лурье, 2010; Шовенгердт и др., 2010 и мн. др.).

Основные задачи, решаемые с помощью данных дистанционного зондирования

В зарубежной литературе существует ряд обзоров, отражающих использование

данных дистанционного зондирования для решения различных задач в области инвентаризации, мониторинга и охраны растительных сообществ (Xie et al., 2008; Nagendra et al., 2013; Homolova et al., 2013; Kuenzer et al., 2014; Petrou et al., 2015 и др.). В отношении изучения растительного покрова выделим группы задач, в решении которых может существенно помочь использование космических снимков:

1. Инвентаризация растительного покрова, то есть получение первичной информации о его составе и структуре. Это может быть как собственно картографирование в узком смысле (создание карт), так и получение информации о распространении единиц растительного покрова разного масштаба – от формаций до отдельных видов (последнее, как правило, возможно при использовании снимков высокого разрешения (табл. 1) или методами индикационного картографирования – с использованием технологий моделирования распространения видов – Species Distribution Modelling).
2. Количественная оценка, то есть получение метрик, численно отражающих требуемый параметр, на основе спектральных индексов (Kuenzer et al., 2014). С помощью космических снимков можно оценить большое число параметров: биологическое разнообразие, биомассу, сомкнутость крон, фотосинтетическую активность, индекс LAI и даже содержание некоторых элементов, например азота (Homolova et al., 2013).
3. Моделирование и прогнозирование распределения отдельных элементов растительного покрова, изменения границ сообществ и т. д. В этих процессах данные дистанционного зондирования могут выступать как количественные или качественные входные данные или как основа для экстраполяции результатов моделирования.
4. Оценка и картографирование параметров среды (например, влажности почв; водоемов или болот – как мест обитания определенных видов или типов растительности), антропогенного влияния (дороги, вырубки и другие нарушения, влияющие на распределение элементов растительного покрова), угроз.
5. Оценка пространственного распределения характеристик растительного покрова (связности/фрагментированности территории, климатических/производных сообществ), выявление коридоров, пригодных для местообитаний редких видов, и т. п. (Petrou et al., 2015).
6. Мониторинг и оценка изменений характеристик, выявленных методами в пунктах 1–5. Это особенно удобно делать с использованием космических снимков, т. к. каждый космический снимок регистрирует состояние местности на определенный, четко известный момент. За счет этого можно оценивать как нарушения растительного покрова (например, выявлять вырубки), так и сезонную изменчивость сообществ, фенологические константы, выявлять сукцессии или изменение условий местообитания во времени.
7. Совместный ГИС-анализ данных дистанционного зондирования и других данных (например, параметров рельефа, гидросети и т. п.) открывает возможности статистического анализа закономерностей распределения растительного покрова, т. к. на основе космических снимков (в отличие от точечных полевых данных) можно получить пространственно непрерывные данные о встречаемости, например, растительного сообщества.

Нельзя также не упомянуть об удобстве использования ДЗЗ как базового слоя при планировании полевых исследований

или для визуализации результатов исследований.

С другой стороны, важно подчеркнуть тот факт, что методы ДЗЗ имеют ряд ограничений в применении. Так, в работе Nomolova et al. (2013) приведены конкретные примеры задач, которые нельзя решить с помощью обсуждаемых в нашей статье типов космических снимков (например, классификация жизненных форм или определение высоты растений требуют методов активного сканирования; нет данных о достоверном определении соотношения С3/С4-фотосинтеза или содержания фосфора).

В целом в применении к изучению растительного покрова ДЗЗ и ГИС являются лишь одним из методов (зачастую очень мощным, но тем не менее дополнительным). Во многих ситуациях строго необходимы полевые исследования, и именно

они несут первичную информацию, а данные дистанционного зондирования выступают как основа для экстраполяции полевых данных и анализа пространственного распределения характеристик растительных сообществ. Особенно это актуально для нелесных районов, где прямое использование ДЗЗ осложнено большей однородностью растительного покрова, менее четкими границами и небольшим размером элементов (как показано ниже, до сих пор для изучения нелесных сообществ ДЗЗ используются не так широко; тем не менее быстро совершенствуются методы, применимые именно к изучению нелесных сообществ).

В табл. 1 приведены ссылки на работы, посвященные изучению разных элементов растительного покрова с помощью данных дистанционного зондирования.

Таблица 1. Примеры использования данных дистанционного зондирования Земли для изучения растительных сообществ

Объект исследования	Используемые космические снимки				комбинирование снимков разного разрешения
	низкого разрешения (MODIS и др.)	среднего разрешения (Landsat)	среднего разрешения (SPOT, Aster и др.)	высокого разрешения (выше 10 QuickBird, RapidEye, Worldview и др.)	
Картографирование растительности в целом	Барталев др., 2011	и Гаврилюк, Ершов 2012; Дубовик, Якутин 2012; Черосов и др., 2012; Шарикалов, Якутин 2014; Rodriguez-Galiano, Chica-Rivas 2014; Rapinel et al., 2015; Wang et al., 2015	Хворостухин, Кликунов, 2013	Rapinel et al., 2014	et
Леса: древостой	Жарко, Барталев, 2014	и Liu et al., 2008; Архипова, 2013; Karlson et al., 2015			Isaacson et al., 2012
Леса: подчиненные ярусы, биоразнообразие	Tuanmu et al., 2010; Пономарёв и др., 2011	и Townsend, Walsh, 2001; Ермаков и др., 2012			

Таблица 1. Продолжение

Используемые космические снимки					
Высокогорные и арктические сообщества	Nilsen et al., 2013; Wang et al., 2015	Barrachina et al., 2015; Chen et al., 2015	Reese et al., 2014	Murray et al., 2010; Polychronaki et al., 2015	Stow et al., 2004; Laurin et al., 2013
Луговые, степные, пустынные сообщества	Schaffrath et al., 2011	Ткачук, 2012; Шабанов и др., 2014; Владимиров и др., 2014; Мячина, 2014; Fassnacht et al., 2015	Hou et al., 2014	Buck et al., 2015; Schuster et al., 2015	Lehnert et al., 2015; Möckel, 2015
Водная и прибрежно-водная растительность				Onojeghuo, Blackburn, 2011; Попова, Бычкова, 2012; White-side, Bartolo, 2015	
Биологическое разнообразие растений (в целом)		Parviainen et al., 2009		Viedma et al., 2012; Camathias et al., 2013; Dalmayne et al., 2013	Rocchini, 2007
Распространение отдельных видов растений (как правило, редких или инвазивных)		Peterson, 2005; Bradley, Mustard, 2006; Gavier-Pizarro et al., 2012; Resasco et al., 2007; Wilfong et al., 2009; Johnston et al., 2012; Somodi et al., 2012		Pouteau et al., 2012; Vanselow, Samimi, 2014	Fuller, 2005; Shouse et al., 2013; Odindi et al., 2014

Оригинальные методы исследований

Проект, подразумевающий использование данных дистанционного зондирования, состоит из нескольких последовательных этапов. Минимальный их набор включает выбор и получение данных дистанционного зондирования (сравнительная характеристика открытых данных приведена в табл. 2), выбор метода анализа ДЗЗ и оценку точности полученного результата. В данном разделе последовательно обсуждается каждый из этапов. В конце раздела эти этапы проиллюстрированы на примере трех проектов, имеющих разный географический охват и исполь-

зующих разные методы анализа космических снимков.

Космические снимки разного разрешения и пути их получения

По пространственному разрешению космические снимки условно делят на несколько групп. Снимки сверхнизкого разрешения (до 1 км) имеют наибольший охват и наименьший период съемки. Такие снимки редко применяются для изучения растительных сообществ.

Низкое разрешение

Снимки низкого разрешения (например, снимки Terra MODIS и Aqua MODIS) ограничено применимы для изучения растительности. Снимки MODIS используют для

Таблица 2. Сравнительная характеристика данных дистанционного зондирования, применимых для изучения растительных сообществ (информация касается данных, находящихся в свободном доступе)

Данные дистанционного зондирования	Пространственное разрешение (видимая и ближняя ИК-части спектра, м)	Размер сцены (км)	Частота съемки (номинальная/примерная частота появления свежих данных в сети Интернет)	Возможность работы со спектральными каналами
Terra/Aqua MODIS	250–1000	2000	2 раза в сутки/мозаики – 1 раз в сутки	При заказе исходных данных
Landsat ETM+, OLI	30	185	16 дней/до 2–3 месяцев	Да (при заказе исходных данных)
Sentinel 2A	10, 20	600	5 дней	Да
TerraLook (на основе снимков Terra Aster)	15	60	1–2 раза в год	Нет
Снимки высокого разрешения	0.7–10 м	Несколько км	В среднем 1 раз в год	Нет

обзорных исследований растительных сообществ в широком географическом охвате (на глобальном и национальном уровнях), для оценки состояния растительности в связи с катастрофическими явлениями (пожары, засуха) или крупномасштабными изменениями (сплошные рубки в северных лесных регионах). В результате получают низкодетальные карты, отражающие общую тенденцию изменения растительности, либо общая схема расположения и достаточно грубые оценки площади объектов. Рабочий масштаб карт (т. е. масштаб карты, на которой объекты будут представлены корректно), полученных по данным MODIS, – порядка 1:1000000.

Среднее разрешение

Наиболее распространенный пример снимков среднего разрешения – снимки серии спутников Landsat. Программа Landsat существует уже более 40 лет, первый спутник серии был запущен в июле 1972 года (Short, 2011). В настоящий момент действуют два спутника серии: Landsat-8 (съемку в видимом и ближнем ИК-диапазонах ведет сенсор OLI) и Landsat-7 (ETM+); второй сенсор не вполне исправен – снимки содержат регуляр-

ные полосы, где данные отсутствуют. С 2008 года все исходные данные, в том числе архивные данные спутников Landsat (сенсоры MSS, TM), доступны бесплатно, в частности на сайте Геологической службы США. Все данные начиная с 1982 г. совместимы между собой без дополнительной обработки.

Снимки Landsat OLI имеют 9 спектральных каналов, 7 из которых: в синем, зеленом и красном диапазонах видимой части спектра, ближний и два средних инфракрасных канала (30 м), а также панхроматический канал (15 м) – практически совпадают с каналами сенсоров Landsat 7 и Landsat 5. Для изучения растительных сообществ обычно используют комбинацию двух инфракрасных и красного канала (синтез 6:5:4 для снимков Landsat 8); для дифференциации лесных и нелесных территорий может быть полезен также зеленый канал. Синий канал очень чувствителен к помехам в атмосфере и малоинформативен с точки зрения изучения растительных сообществ (Shmitt, Ruppert, 1996).

Снимки Landsat широко используются в исследованиях лесного покрова (Курбанов и др., 2013; Курбанов и др.,

2014; Vanskota et al., 2014 и мн. др.), где их ценность не представляет сомнений, а также для моделирования пространственного распределения отдельных видов (Schmidt et al., 2008; Cord, Rödder, 2011; Ханов, Пшегусов, 2014). На наш взгляд, они наиболее широко применимы и для исследований растительных сообществ вообще на локальном и региональном уровне, и для экстраполяции данных отдельных наземных наблюдений (Price et al., 2002 и др.; также см. табл. 1).

Эти снимки свободно доступны в исходном виде, что позволяет проводить на их основе разные виды исследований: от визуального дешифрирования отдельных интересующих объектов до математических операций с растром и автоматизированной классификации с целью представления разных классов объектов или степени выраженности той или иной характеристики. Несмотря на кажущееся слишком грубым по сравнению с более детальными снимками разрешение, снимки Landsat позволяют получить хороший результат за счет возможности использования спектральных характеристик объектов (Cohen, Spies, 1992). При этом разрешение 30 м не значит, что минимальный размер объектов – 900 квадратных метров: можно дешифрировать и значительно меньшие объекты, если они вносят заметный вклад в изменение яркости пикселя (Колесникова, Черепанов, 2009). Важным преимуществом снимков Landsat является высокое временное разрешение (16 дней) и достаточно большой размер сцены (185 на 185 км).

Путем автоматизированной классификации с обучением, с помощью нейросетевого анализа и применения деревьев решений по снимкам Landsat можно выделять участки лесных сообществ, образованные разными видами деревьев, и определять степень их участия в древостое; путем математических операций с данными каналов ближней инфракрасной части спектра (например, индекса NDVI и аналогичных) разделять разные травяные сообщества на основе косвенного признака биомассы надземных вегетативных органов; дешифрировать типы, гранулометрический состав почв и многое другое.

Другой свободно распространяемый продукт среднего разрешения – коллекция изображений TerraLook (на основе снимков Aster, разрешение около 15 м/пиксель).

Они представляют собой синтезированное в естественных цветах изображение (инфракрасные каналы не используются). Изображения TerraLook хорошо подходят для верификации результатов, полученных по снимкам Landsat. Применение их как самостоятельных данных возможно только для визуализации или выявления нарушений с четкими границами (например, вырубок); информацию о составе растительных сообществ на основе снимков TerraLook Aster получить нельзя.

4 декабря 2015 года Европейское космическое агентство объявило об открытии данных со спутников Sentinel 2 Европейского космического агентства (пока доступны данные только с первого спутника Sentinel 2A, запущенного 25 июня 2015 года; запуск второго спутника Sentinel 2B запланирован на 2016 год). Эти данные выгодно отличаются от данных Landsat и спектральным (10 спектральных каналов в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне против 5 у сенсора OLI Landsat 8), и временным (5 дней против 16), и пространственным (10 и 20 метров в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне против 5 у сенсора OLI Landsat 8) разрешением (Drusch et al., 2012; Turner et al., 2015). Ожидается, что снимки Sentinel 2 помогут значительно расширить возможности мониторинга растительного покрова (Hojas-Gascón et al., 2015).

Высокое и сверхвысокое разрешение

Снимки высокого (1–10 м) и сверхвысокого (менее 1 м) разрешения бесплатно доступны только посредством геопорталов, или, если для решения конкретной задачи необходимо ограниченное количество снимков, можно договориться о выполнении совместного научного или природоохранного проекта с компанией-оператором станций приема космических снимков, в нашей стране это прежде всего ИТЦ «СканЭкс» – коммерческая компания, предоставляющая полный комплекс услуг от приема до тематической обработки изображений Земли из космоса.

Полученные таким образом снимки выгодно отличаются от свободно распространяемых снимков Landsat разрешением и при этом позволяют применять методы автоматизированной обработки. Такой вариант получения данных дистанционного зондирования хорош, если площадь терри-

тории исследования мала (до нескольких квадратных километров), а научная задача выгодно подчеркивает возможности снимков высокого разрешения.

Снимки высокого разрешения малопригодны, если необходимо высокое временное разрешение съемки. В этом случае оптимальным решением могут оказаться снимки Landsat в сочетании с методами субпиксельного дешифрирования или декомпозиции спектральных смесей (Кравцова, 2012).

Кроме того, изображения, подготовленные на основе снимков высокого и сверхвысокого разрешения, выложены на геосервисах (Яндекс-карты, GoogleMaps, Космоснимки, Bing), а также в программе GoogleEarth. Все эти ресурсы имеют больший или меньший ряд инструментов, позволяющий пользователю создать свою карту на основе существующей подложки-мозаики из снимков высокого разрешения. Их нельзя использовать для автоматизированного анализа и дешифрирования растительности, но их, как правило, достаточно для планирования района исследований, подготовки карт для экспедиций, планирования маршрутов, а также для подготовки простейших карт для отчетов и иллюстраций. Важно помнить, что изображения геосервисов являются объектом авторского права и перед их использованием необходимо ознакомиться с лицензионным соглашением и разрешенным видом использования продуктов.

Методы обработки и анализа снимков

Обработка данных дистанционного зондирования включает в себя большое количество разных методов, но суть их сводится к получению на основе космического снимка карты, отражающей информацию об определенных, важных для исследователя объектах и явлениях. Этот процесс называется дешифрированием снимка. Важно понимать, что любая карта – результат генерализации, т. е. представляет собой только малую часть информации снимка (Лабутина, Балдина, 2011), но зато нужная информация выделена и подчеркнута. Поэтому процесс создания карты на основе космического снимка можно разделить на четыре этапа:

– определение целевых объектов и масштаба дешифрирования;

– выбор в соответствии с этим данных дистанционного зондирования с нужными характеристиками (в первую очередь – пространственным разрешением и необходимыми каналами спектра);

– собственно дешифрирование снимка;

– принятие решения о том, какие объекты (в зависимости от результата) и каким образом должны быть показаны на карте для того, чтобы информация хорошо читалась; создание понятной легенды.

Если в работе используют исходные данные дистанционного зондирования, дешифрированию снимка обычно предшествует первичная обработка. Она может включать в себя геометрическую и атмосферную коррекцию, а также другие операции в тех случаях, когда это необходимо (геометрическая коррекция – для горных территорий и в случае автоматизированного выявления изменений, когда разновременные снимки должны четко соответствовать друг другу, атмосферная коррекция – при работе в чувствительных к атмосферным искажениям спектральных диапазонах и т. д.).

Собственно дешифрирование может быть как визуальным с выделением контуров объектов по снимку вручную, так и автоматизированным. Визуальное дешифрирование требует длительной монотонной работы, но минимальной предварительной и последующей обработки; автоматизированное дешифрирование требует более высокой квалификации и незаменимо для больших территорий с однообразными выделяемыми объектами, а также в случае нечеткой границы объектов; ему сопутствует длительная предварительная подготовка и постобработка результатов. Автоматизированные методы дешифрирования снимков основаны на проведении математических операций с растрами (могут быть использованы как разные каналы одного снимка для расчета индексов, как, например, индекс NDVI, так и каналы снимков разного времени – для выявления изменений) и классификации снимков.

Во всех случаях для распознавания объектов необходимо обладать определенными знаниями об их представлении на снимке и закономерностях распределения. Лучше всего, если анализ дистанционных данных подкреплен результатами наземных исследований. В этом случае

полевые данные необходимо наложить на снимок и использовать их как реперные. Также может помочь использование топографической карты, материалов лесоустройства и других картографических продуктов.

Визуальное дешифрирование

Общие закономерности представления объектов на снимке помимо цвета, который определяется вариантом спектрального синтеза, относятся к размеру, форме, структуре поверхности объекта и их взаиморасположению (Чандра, Гош, 2008). Например, зная разрешение снимка, легко установить как характер объекта (на снимках разного разрешения всегда хорошо различаются линейные и площадные объекты), так и его размеры на местности. Антропогенные объекты обычно имеют правильные формы, четкие, ровные границы и регулярное расположение, в то время как для естественных объектов характерны неправильные, изогнутые линии и хаотическое расположение. Зернистая, неровная структура объекта говорит о неоднородности его составляющих, но при использовании этого параметра стоит учитывать пространственное разрешение снимка (Лурье, 2010).

Для визуального дешифрирования космический снимок выводят на экран

монитора в определенном цветовом синтезе, наиболее подходящем исходя из изучаемых объектов. Наиболее часто используемые варианты синтеза для снимков Landsat приведены в табл. 3. Для упрощения дешифрирования изменений (например, вырубок) часто применяется совмещение каналов снимков, полученных до и после изменений. По результатам визуального анализа можно подготовить картосхему, иллюстрирующую выявленные объекты. Для проведения пространственного анализа (в том числе оценки площадей) объекты необходимо либо оцифровать вручную, либо провести автоматизированную классификацию.

Операции со спектральными каналами

Вычисление спектральных индексов позволяет подчеркнуть разницу в отражении излучения в определенных частях спектра различными объектами (Vanpari, 1995; Лурье, 2010). Большинство индексов, используемых для изучения растительных сообществ, основаны на отличии спектрального профиля здоровой растительности от профиля угнетенной, а также любых других объектов, в т. ч. воды и почв (активно вегетирующие сообщества поглощают больше излучения

Таблица 3. Основные варианты синтеза спектральных каналов (по: Fox, 2015)

Общепринятое название синтеза	Каналы, представляемые цветами монитора			Пример (Landsat 8/OLI)	Назначение и преимущества синтеза
	Красным	Зеленым	Синим		
Естественные цвета	Видимый красный	Видимый зеленый	Видимый синий	4:3:2	Используется в геосервисах и для иллюстраций. Сцена выглядит естественно; множество вариаций цвета воды
Стандартные псевдоцвета	Ближний ИК	Видимый красный	Видимый зеленый	5:4:3	Популярен для дешифрирования растительности: она представлена множеством вариаций в оттенках красного цвета
«Зеленые» псевдоцвета	Коротковолновый ИК	Ближний ИК	Видимый красный	6:5:4	Особенно популярен в изучении лесных сообществ. Вегетирующая растительность отображается в привычных оттенках зеленого цвета и в то же время имеет хороший контраст с почвами и водой

в красной зоне спектра и отражают больше в ближней инфракрасной части по сравнению с остальными объектами; Tucker, 1979; Лурье, 2010). Чаще других используется индекс NDVI (Pettoirelli et al., 2005; Курбанов и др., 2013); как правило, он применяется для создания глобальных продуктов на основе снимков низкого и среднего разрешения (DeFries, Townshend, 1994; Beck et al., 2007), но может быть использован и на локальном уровне для оценки биоразнообразия (Levin et al., 2007) и моделирования распространения редких видов (Parviainen et al., 2013). Вместе с тем индекс NDVI является довольно грубым, особенно при высокой и низкой сомкнутости растительного покрова; в последнем случае он может быть заменен на индекс SAVI, учитывающий влияние почв (Шовенгердт, 2010).

Преобразования спектральных каналов применяют, чтобы извлечь из значений яркости численные данные, дающие наиболее подходящую для изучения конкретного объекта информацию, другими словами – подчеркнуть необходимую и удалить лишнюю информацию. Преобразование методом главных компонент позволяет выделить среди значений отражения в разных спектральных каналах наиболее значимые, уменьшить число анализируемых каналов практически без потери информации. В первой компоненте при этом максимально подчеркнут спектральный контраст, а вторая отражает границы смены контраста. Это может улучшить результаты как визуального дешифрирования, так и простых методов автоматизированной классификации, т. к. синтез трех главных компонент содержит больше информации, чем любые три исходных спектральных канала (Лурье, 2010; Шовенгердт, 2010).

Преобразование снимков методом Tasseled Cap («колпачок с кисточкой») также очень популярно среди исследователей растительности. Оно позволяет разложить значения спектральных каналов на три составляющих: яркости (подразумевается преимущественно яркость почв), «зелености» и влажности (почв и атмосферы), каждая из которых имеет принципиальное значение для дешифрирования (Книжников и др., 2004; Richards, Jia,

2006; Чандра, Гош, 2008; Pflugmacher et al., 2012; Курбанов и др., 2013).

Принципиальное отличие преобразований методом главных компонент и Tasseled Cap – в том, что первое зависит от исходного набора данных и универсально для всех объектов, а второе разработано специально для изучения почв и растительности и не зависит от разброса яркостей в исходных каналах (Книжников и др., 2004; Шовенгердт, 2010).

Для быстрой оценки площадей изменений (особенно для лесопокрываемых площадей), прошедших за определенный период на одной и той же территории, используют математические операции с каналами одного диапазона разновременных снимков (как правило, вычитают значения ближнего или коротковолнового инфракрасного канала более раннего снимка из значений того же канала более позднего снимка; также можно использовать деление; Чандра, Гош, 2008). В результирующем слое выделяются три группы пикселей: со значениями, близкими к нулю (соответствуют пикселям исходного снимка, яркость которых не изменилась, – изменений нет), положительными (яркость пикселей увеличилась, что соответствует вырубкам) либо отрицательными (яркость пикселей уменьшилась, что соответствует зарастанию территории). Используемые каналы должны быть корегистрированы; при математических операциях следует учитывать радиометрическое разрешение входных данных.

Автоматизированные методы классификации

Методы автоматизированной классификации по своей сути основаны на статистическом анализе и поиске закономерностей, где исходными данными является яркость пикселей снимка, соответствующих интересующим исследователя объектам на местности, или ее производные (например, значения вегетационных индексов или результаты преобразований). Проблема выбора метода классификации снимка в конкретном проекте аналогична проблеме выбора метода статистического анализа. Подробное рассмотрение всего набора методов автоматизированной классификации в рамках статьи не представляется возможным, поэтому

ниже мы лишь обозначим наиболее распространенные методы классификации.

Классификация может быть попиксельная (каждый пиксель относится к какому-то классу на основе эталонов) и объектно-ориентированная – сегментация (в этом случае снимок сначала делится на заданное напрямую или через степень округления количество сегментов, а затем дешифровщик определяет, какому объекту соответствует каждый сегмент). Как правило, попиксельную классификацию используют для установления закономерностей явлений, а также в случае дешифрирования объектов с нечеткими и переходными границами, а сегментацию – для создания карты и выделения прежде всего антропогенных объектов.

Попиксельная классификация, в свою очередь, может быть необучаемой (самый распространенный метод – ISODATA – заключается в кластеризации пикселей по яркости в разных каналах, после чего исследователь интерпретирует полученные классы) и обучаемой – программа относит каждый пиксель к тому или иному из эталонных классов в зависимости от близости его яркостных характеристик к характеристикам того или иного эталона. Если результат классификации неудовлетворителен, можно поправить эталоны и запустить классификацию еще раз; количество таких повторов может быть неограниченным. Очевидно, что точность обучаемой классификации выше, чем необучаемой. Необучаемую классификацию лучше применять в тех случаях, когда территория малоизвестна или для выявления крупных классов объектов (например, получение маски лесов), напротив, обучаемую классификацию лучше проводить в тех случаях, когда были проведены полевые исследования и необходима более детальная классификация (например, выделение лесных формаций). Обучаемая классификация очень чувствительна к качеству эталонов (Чандра, Гош, 2008): она приближается к идеальной, только если эталоны выделены очень точно и соответствие пикселей и эталонов взаимно однозначное (все варианты яркостей имеют свой эталон и пиксели с одинаковыми яркостными характеристиками не попадают в разные эталоны). Понятно, что при изучении расти-

тельных сообществ этого добиться невозможно, кроме того, эталоны рисуются на глаз, а глаз исследователя далеко не всегда различает яркости настолько же точно, насколько их различает программа. Поэтому если мы имеем дело со сложными объектами, даже обучаемая классификация не дает удовлетворительных результатов (много пикселей оказываются классифицированы неправильно и при генерализации границы объектов сильно искажаются).

Особое место среди алгоритмов попиксельной классификации занимают методы машинного обучения: классификация с использованием самоорганизующихся нейронных сетей, деревьев решений и опорных векторов. Отличие их от механизмов обучаемой классификации в принципиально другом математическом аппарате, а на практике это проявляется в том, что сначала на основе статистики всей области снимка (для нейронных сетей) или отдельных эталонов выстраивается алгоритм классификации (что минимизирует ошибку пользователя), а затем на основе полученных результатов на примерах алгоритма происходит классификация всех пикселей снимка.

Для классификации объектов с нечеткими границами наиболее подходят алгоритмы с использованием нейронных сетей. После классификации нейронная сеть, каждому из нейронов которой соответствуют определенные пиксели снимка, может быть откалибрована вручную или на основе эталонов или раскрашена по градиенту признака. Таким образом, нейросетевой анализ является самым точным, но вместе с тем и самым требовательным к количеству точек исходных данных методом анализа, подходящим для изучения растительных сообществ. Его рекомендуют использовать в том числе в случаях, когда закономерности сложны и классы объектов не могут быть выявлены до начала классификации (как это необходимо при классификации с обучением) (Савельев, 2004).

Деревья решений (Decision Trees; Xu et al., 2005; Potapov et al., 2015) – метод, позволяющий не только классифицировать данные, но и, в отличие от нейронных сетей, где все правила классификации остаются внутри «черного ящика»,

точно указать, какие показатели использованы для разделения на классы. Суть работы метода очень похожа на определение видов по дихотомическим ключам. Построение «ключа» классификации проводится на тренировочных данных, затем по этому «ключу» классифицируются все пиксели снимка. Усовершенствованным вариантом этого метода являются ансамбли деревьев решений, или «случайные леса» (Random Forest; Шипунов и др., 2012).

Также достаточно популярен метод опорных векторов (Support Vector Machines), основанный на вычислении гиперплоскости, разделяющей классы в многомерном пространстве признаков; однако, согласно ряду оценок, он уступает в точности ансамблям деревьев решений (Шипунов и др., 2012; Rodriguez-Galiano, Chica-Rivas, 2014).

Оценка точности результата

Оценка точности (валидация) результирующего слоя является очень важным этапом в дешифрировании космических снимков (Stehman, Czaplewski, 1998; Fassnacht et al., 2006). Технически задача оценки точности подразделяется на два вопроса: с какими данными сравнивать полученный результат и каким образом оценить соответствие (т. е. какой метод выбрать для сравнения)?

Сравнение полученного результата с другими существующими данными проводится в рамках обсуждения и является обязательной общепринятой практикой, но по ряду причин этого обычно недостаточно для того, чтобы оценить качество полученного слоя. Чаще всего данных на ту же территорию, с которыми можно было бы корректно сравнить результат, просто не существует. Нередко один или оба набора представлены номинальными или ранговыми данными, и сопоставить их между собой можно лишь условно. Наконец, даже если это возможно, с помощью такого сравнения нельзя оценить именно качество результата, потому что полученная оценка расхождения включает в себя не только собственно ошибку проверяемого результата, но может быть обусловлена также ошибкой проверочных данных и расхождениями в методиках.

Поэтому для проверки результата, как правило, используют данные, анало-

гичные исходным. Общепринятый прием при использовании методов автоматизированной классификации или машинного обучения – разделение обучающей выборки на две части, большая из которых (обычно 70–80 % пикселей или тренировочных участков) используется для обучения алгоритма, а меньшая (20–30 %) – для проверки результата. В комплексных исследованиях бывает целесообразно собирать данные для тренировок и валидации отдельно (например, если слой (карта) – лишь один из результатов, тренировочные точки могут нести значительно большую информационную нагрузку, чем валидационные).

Проверочные данные должны быть распределены по территории исследования по возможности равномерно. Если проверяемый результат имеет широкий географический охват, собрать данные для проверки в поле может быть проблематично; в этом случае не вполне корректно и использование части обучающей выборки. Решением в этом случае может стать проверка результата в узлах регулярной сетки. Данные для проверки (истинные значения в узлах сетки) могут быть определены по имеющимся дополнительным данным или также дистанционными методами, но по принципиально другим снимкам (например, большего пространственного или временного разрешения).

Таким образом, для валидации результата дешифрирования могут быть использованы часть обучающей выборки, специально собранные полевые данные или значения в узлах регулярной сетки, полученные на основе имеющихся дополнительных данных или данных дистанционного зондирования другого типа.

Метрики, используемые для количественной оценки точности, зависят от типа проверяемых данных. Для категориальных данных хорошо подходит стандартный метод – матрица ошибок (Книжников и др., 2004; Чандра, Гош, 2008; Малышева, 2012). Общая точность результата вычисляется как отношение правильно классифицированных элементов к общему их числу, но сама по себе не является достаточно информативной, т. к. важное значение имеет распределение ошибок (Fassnacht et al., 2006). Для каждого клас-

са результата может быть вычислена так называемая ошибка пользователя (*user's accuracy*), которая вычисляется как отношение совпавшего с проверочными данными количества элементов к общему количеству элементов данного класса. Эта ошибка позволяет оценить количество пропусков, т. е. понять, насколько полно в данном классе результата представлены соответствующие ему объекты. Другой тип ошибки, ошибка классификатора (*producer's accuracy*), вычисляется для каждого класса проверочных данных как отношение совпавшего с результатом количества элементов к общему количеству элементов проверочного класса. Эта ошибка позволяет оценить количество ошибочно присоединенных к данному классу элементов (Книжников и др., 2004; Чандра, Гош, 2008).

В случае, если количество элементов в разных классах сильно различается, общая точность результата, вычисленная с помощью матрицы соответствий, может быть завышена. В этом случае рекомендуется использовать коэффициент каппа (Foody, 2002; Книжников и др., 2004; Чандра, Гош, 2008).

Для континуальных данных в качестве меры точности результата можно использовать регрессию (Joshi et al., 2006; Sexton et al., 2013) или стандартную ошибку (Hansen et al., 2005).

Чуть более сложен вопрос оценки результата в широко распространенном случае, когда информация имеет континуальную природу, но в результирующем слое организована в виде нескольких классов. В этом случае для оценки точности правомерно использовать матрицу соответствий, но точность может получиться заниженной из-за переходного характера границ между классами. С другой стороны, регрессия позволит лишь в общих чертах оценить степень соответствия результирующих и проверочных данных. Выходом может стать использование матрицы соответствия при нечетких границах классов (*fuzzy boundaries*). Алгоритм определения границ классов может быть различным, два примера построения подобного алгоритма детально описаны в статье Fassnacht et al. (2006).

Более подробно с общими принципами, методами оценки точности и ис-

пользуемыми метриками можно ознакомиться в специальных работах (Stehman, Czaplewski, 1998; Foody, 2002; Fassnacht et al., 2006; Чандра, Гош, 2008; Petrou et al., 2015 и др.).

Примеры проектов с использованием данных дистанционного зондирования

В данном разделе статьи кратко изложены примеры проектов, выполненных авторами в Лесном и ГИС-отделах Гринпис России, на кафедре геоботаники биологического факультета и на географическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова. Приведены примеры проектов, выполненных методами визуального дешифрирования (1), классификации без обучения (2) и машинного обучения (методом нейросетевого анализа, 3).

1. Картографирование растительного покрова Долины реки Гейзерной (Яблоков, Завадская, 2013; Завадская, Яблоков, 2014).

Цель работы – создание карты растительности Долины реки Гейзерной в Кроноцком государственном заповеднике, отражающей как накопленный геоботанический материал, так и актуальное состояние флоры объекта. Растительный покров в долине представлен термофильными сообществами, видовой состав которых, как правило, существенно отличается от окружающих зональных сообществ и обладает высокой природоохранной ценностью и степенью эндемичности; его структура обладает высокой мозаичностью, обусловленной рядом факторов, ведущими из которых являются температура субстрата и расстояние от выхода термальных вод. В условиях изучаемой территории невозможно провести сплошную съемку, которая предполагает маршруты по выделенной сетке, покрывающей всю территорию (это связано с обилием опасных гидротермальных проявлений и привело бы к полному вытаптыванию крайне уязвимой к нагрузкам уникальной растительности Долины гейзеров). В связи с этим картографирование растительности проводилось на основе данных дистанционного зондирования в совокупности с материалами, полученными в ходе наиболее щадящих маршрутов полевых исследований.

Информационной основой работ стали геоботанические исследования Долины реки Гейзерной в 2011–2014 гг., а также ранее составлявшиеся картографические материалы. Исследования осуществлялись методом комплексной ординации и включали наблюдения на пяти эколого-географических трансектах, наилучшим образом отражающих разнообразие ландшафтной структуры исследуемого участка. В состав наблюдений на комплексных профилях входили выделение растительных сообществ, измерение их протяженности, геоботаническое описание сообществ с выявлением флористического состава травяно-кустарничкового яруса, определением общего проективного покрытия травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов, а также проективных покрытий каждого вида сосудистых растений. Сообщества определялись на основе учета их физиономического облика и описывались в естественных границах.

Одновременно с наблюдениями на комплексных профилях для полосы трансект шириной 5 м составлялись схемы растительного покрова исследуемого участка. Кроме трансект геоботанические описания проводились на всех репрезентативных участках территории, доступных по сети настильных троп.

В результате выполнения полевых работ были получены данные о пространственной структуре (схемы растительного покрова 5 трансект в масштабе 1:400) и единицах растительного покрова (более 400 полных геоботанических описаний и более 700 кратких геоботанических и ландшафтных бланков).

Дешифрирование проводилось на основе космических снимков GeoEye и материалов аэрофотосъемки в сочетании с экстраполяцией материалов полевых исследований.

Работа проводилась над снимками при масштабе 1:500, т. к. масштаб создаваемой карты был 1:1000. Именно в этом масштабе соблюдался компромисс в учете значимых наименьших контуров и генерализации сложных границ термальных сообществ.

Дешифрировали снимки в программной среде ArcGIS. В первую очередь на карту были нанесены четко выделен-

ные антропогенные и наиболее очевидные природные объекты (водоемы, грязевые котлы, селевые потоки, термальные выходы без растительности). Следующим этапом было дешифрирование самой растительности. Наиболее распознаваемой была древесная растительность: березняки, ивняки, ольховники. Достаточно однозначно выделялась зональная растительность, луга, высокотравье. Переходные участки (от зональных к интразональным термальным сообществам) были сложными для дешифрирования. С помощью описаний были выделены микропоясные термальные участки сообществ. Атрибутирование контуров проводилось на основе материалов геоботанических исследований. Те контуры, атрибуты которых невозможно было экстраполировать по известным участкам, остались без атрибутивной информации; в ряде случаев теневые участки снимка не позволили выделить границы и соответственно определить их принадлежность. По результатам предварительного дешифрирования было выделено более 800 контуров, из которых атрибутировано только 60 %.

Для проверки и уточнения выделенных контуров на этапе валидации использовалась программа Collector for ArcGIS. Работа с ней осуществлялась непосредственно в поле. Были выделены не отмеченные ранее контуры и уточнены границы существующих, добавлены описания растительных сообществ (более 200). С помощью фотографий-вложений и дополнительных материалов были определены неизвестные ранее виды.

В конечном итоге было выделено 478 контуров. Классификационная принадлежность единиц растительного покрова для зонально-поясных сообществ приведена по Нешатаевой (2009); термофильные сообщества дифференцированы по Липшицу (1936) и Трассу (1963).

В результате на карте были выделены следующие классы объектов:

- инфраструктура;
- водные объекты;
- термальные грязевые воронки;
- незадернованные участки термальных полей;
- незадернованные поверхности на месте аккумуляции наносов оползней и селевых потоков;

пионерные сообщества на месте аккумуляции наносов оползней и селевых потоков;

зонально-поясные сообщества; сообщества, близкие по структуре к зонально-поясным;

сообщества факультативных термофилов;

сообщества облигатно-факультативных термофилов;

сообщества облигатных термофилов.

Общее количество выделенных растительных сообществ — 34 (рис. 1).

Карта растительности Долины реки Гейзерной является своеобразной точкой

отсчета для проведения последующих работ по мониторингу на данном объекте, а также обладает мощным индикационным потенциалом, позволяющим на основе пространственного анализа составлять производные карты других компонентов природно-территориального комплекса на основе их закономерной связи.

Работы выполнены при поддержке РФФИ (проекты №№ 13-05-00870, 15-04-03818) и РНФ 15-17-30009 (картографический аспект исследования).

2. Карта лесов центра и севера европейской России (Ярошенко и др., 2008).

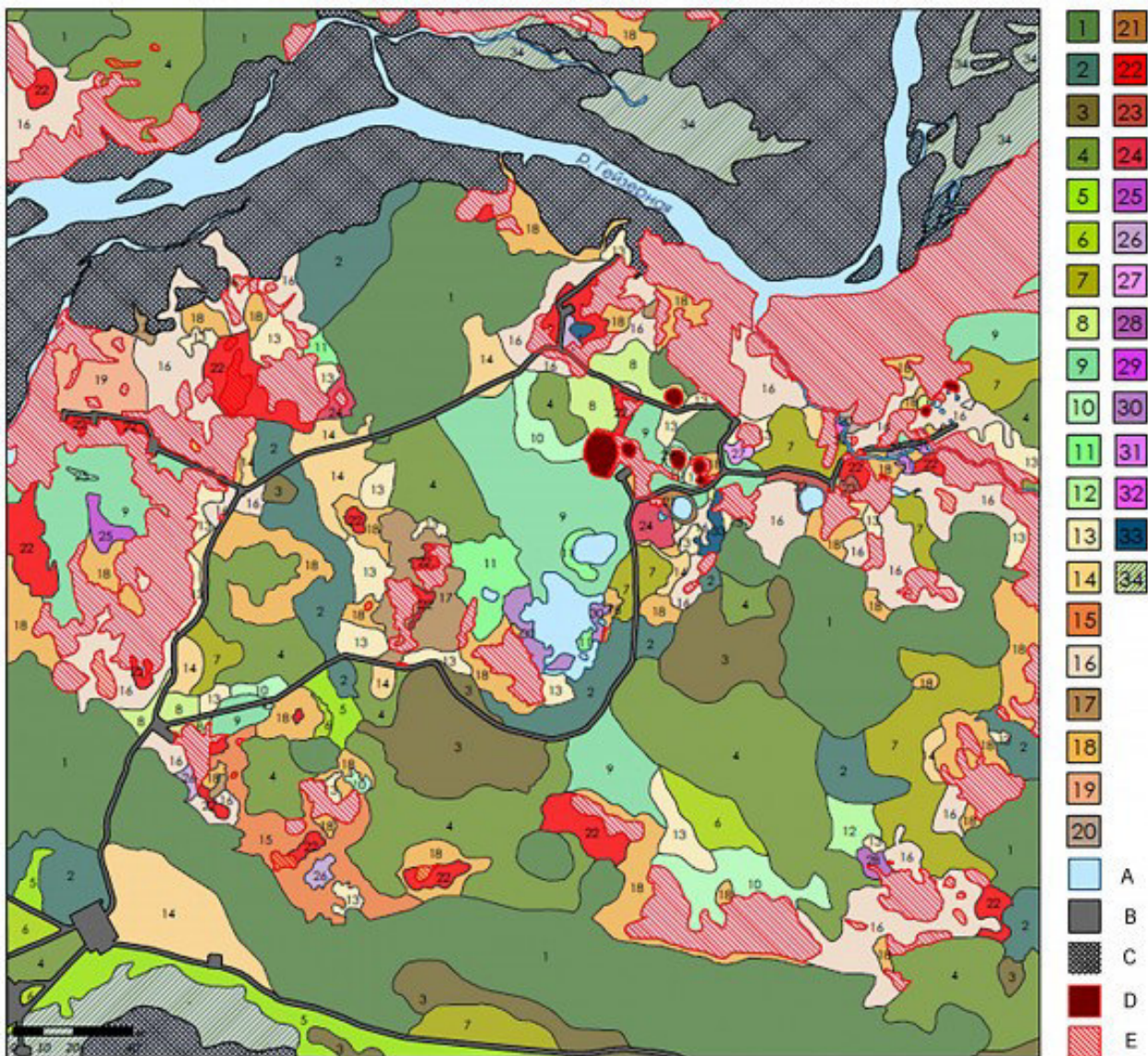


Рис. 1. Растительность Долины р. Гейзерной:

1 – каменистоберезняк разнотравный, 2 – ивняк шеломайниковый, 3 – сообщества ольхового стланика, 4 – крупнотравно-шеломайниковые луговые сообщества, 5 – высокотравные луговые сообщества с преобладанием лабазника и бодяка, 6 – высокотравные луговые сообщества с преобладанием вол-

жанки, 7 – высокотравные луговые сообщества с преобладанием крестовника, 8 – разнотравные луговые сообщества с преобладанием герани и василистника, 9 – монодоминантные сообщества вейника, 10 – сообщества с преобладанием вейника и орляка, 11 – сообщества с преобладанием вейника и полыни, 12 – сообщества с преобладанием вейника и таволги, 13 – сообщества с преобладанием орляка, 14 – сообщества с преобладанием василистника, 15 – микропоясные термальные сообщества с преобладанием полыни и василистника, 16 – микропоясные термальные сообщества мхов с преобладанием полыни и лапчатки, 17 – микропоясные термальные сообщества с преобладанием мхов и лапчатки, 18 – микропоясные термальные сообщества с преобладанием мхов и полыни, 19 – микропоясные термальные сообщества с преобладанием полыни и полевицы, 20 – сообщества с преобладанием полевицы и вейника, 21 – сообщества болотницы и вейника на переувлажненных местообитаниях, 22 – микропоясные термальные сообщества с преобладанием мхов и фимбристелиса, 23 – микропоясные термальные сообщества мхов с преобладанием фимбристелиса и зюзника, 24 – микропоясные термальные сообщества мхов с преобладанием фимбристелиса и полевицы, 25 – микропоясные термальные сообщества с преобладанием мхов и полевицы, 26 – микропоясные термальные сообщества с преобладанием мхов и полевицы, 27 – микропоясные термальные сообщества с преобладанием зюзника, 28 – микропоясные термальные сообщества с преобладанием зюзника и полевицы, 29 – монодоминантные сообщества болотницы на переувлажненных местообитаниях, 30 – сообщества болотницы и вейника на переувлажненных местообитаниях, 31 – сообщества болотницы и полевицы на переувлажненных местообитаниях, 32 – сообщества болотницы и череды на переувлажненных местообитаниях, 33 – лишайниковые сообщества, 34 – пионерные сообщества на месте аккумуляции наносов оползней и селевых потоков. А – водные объекты, В – объекты экскурсионной инфраструктуры, С – незадернованные поверхности на месте аккумуляции наносов оползней и селевых потоков, D – термальные грязевые воронки, E – термальные участки, лишенные растительного покрова

Fig. 1. Vegetation of the Geyzernaya valley

Информация об актуальном состоянии лесов востребована как в практике лесного хозяйства (до сих пор распространено мнение о богатстве запасов леса в России, поскольку обычно не принимается во внимание истощительность методов, используемых при ведении лесозаготовок, в результате которых старовозрастные хвойные леса заменяются на малоценные мелколиственные), так и в целях планирования научных исследований, т. к. в результате интенсивного использования лесов и неправильного лесовосстановления повсеместно происходит замена коренных типов леса на производные, биогеоценозов – на менее разнообразные и устойчивые (Потапов и др., 2004). Целью проекта было получить актуальную карту лесов, отражающую преобладающие породы, и оценить изменения в лесном покрове за 1990–2005 годы. Поскольку состояние лесов быстро изменяется, данные дистанционного зондирования являются незаменимым источником информации. Применение автоматизированной классификации и математических операций дает возможность проанализировать лесной покров большой территории с относительно небольшими затратами времени, а визуальная постпроверка позволяет добиться хорошей точности.

В работе были использованы снимки Landsat TM и ETM+ за 1990–2000 гг. в синтезе 5:4:3 (разрешение 30 м) для оценки нарушенности сообществ, а также следующие наборы геоданных: карты преобладающих типов пород: леса России (Барталев и др.,

2004), Land Cover map of Northern Eurasia (Bartalev et al., 2003); слой ценных природных территорий – малонарушенных лесов европейской России. Территории с увеличением отражательной способности были выявлены путем математических операций, затем к ним применили автоматизированную классификацию без обучения (ISODATA) для создания маски лесопокрываемой площади (рис. 2). То есть на первоначальном этапе были выявлены территории, где произошли значительные изменения, а затем выделены те из них, которые произошли в лесах. Результаты автоматизированной классификации проходили визуальную постобработку.

Изменения в лесном покрове за 2000–2005 гг. были выявлены с помощью алгоритмов создания и тренингов дерева решений в классификации в Университете Мэриленда (Potarov et al., 2011).

В результате получена карта центра и севера европейской России, отражающая деление лесов по преобладающей породе и освоенности, распространение молодняков разного возраста и малонарушенных лесных территорий. Карта является относительно мелкомасштабным продуктом, при этом для отдельных территорий может быть проведен аналогичный анализ в более крупном масштабе

3. Уточнение данных об ареале пихтоельников Северо-Западного Кавказа и степени сомкнутости темнохвойных (Комарова и др., 2010; Комарова, 2012).

Выделение лесов высокой природоохранной ценности (ЛВПЦ) – один из инструментов, способствующих сохранению ценных лесных сообществ (Аксенов и др., 2006). Пихтовые леса Северо-Западного Кавказа представляют собой уникальные растительные сообщества (указаны в каче-

стве редких сообществ на уровне союза *Rhododendrono pontici-Fagion orientalis* (в том числе подсоюз *Abieti-Fagenion orientali*) и союза *Vaccinio-Fagion orientalis* (Red Data Book, 1997), с ними связано большое число редких растений, включенных в Красные

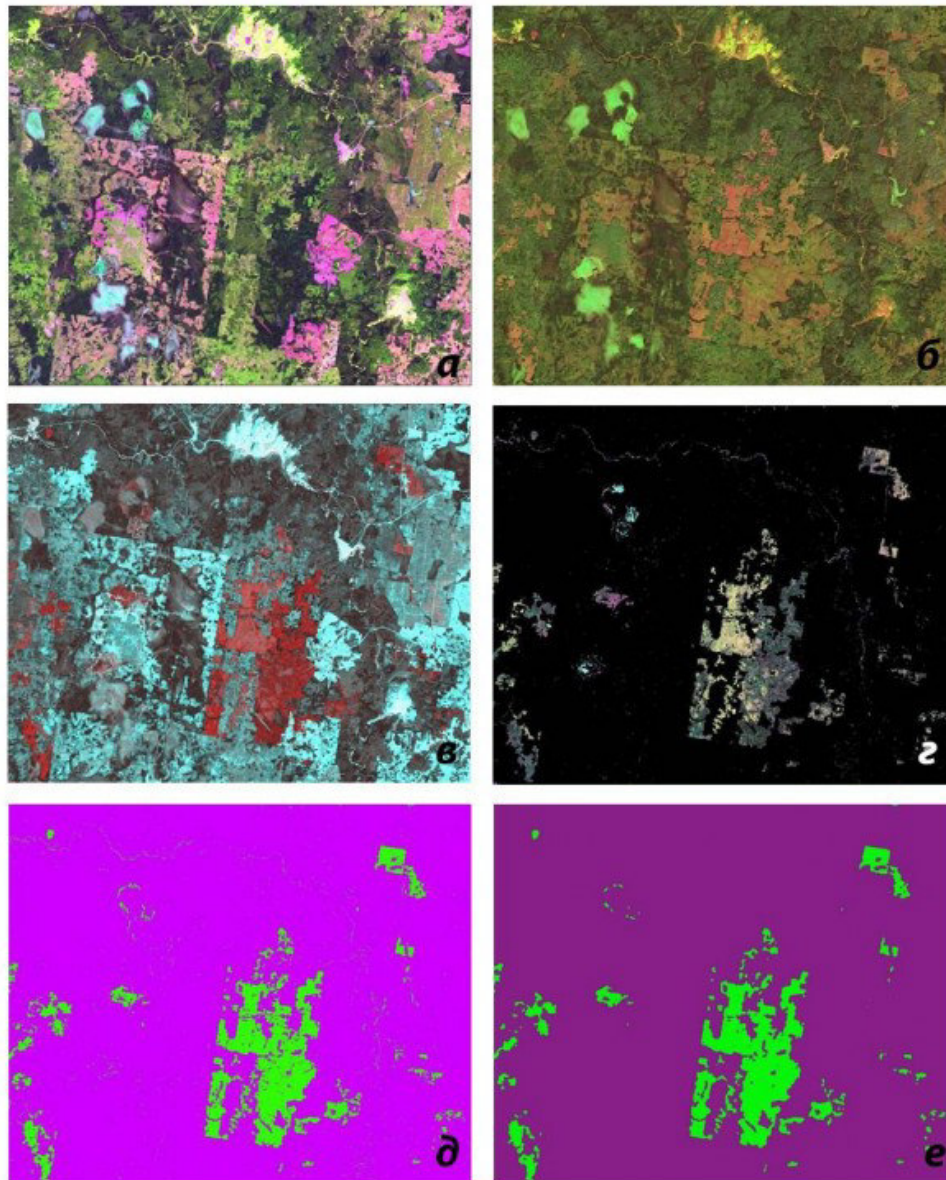


Рис. 2. Процесс получения карты лесов европейской части России:

а, б – исходные космические снимки Landsat до и после нарушения, в – изменение в лесном покрове на синтезированном изображении, г – результат вычитания каналов, д – результат классификации, е – контур изменений после генерализации (огрубления)

Fig. 2. Map of the forests in the European part of Russia: the workflow:

а,б – Landsat images before and after deforestation, в – forest cover change on the composite image, г – the result of channels' subtraction, д – the result of the classification, е – the result after generalization

книги России и регионов. Процесс выделения ЛВПЦ с технической точки зрения был разделен на две задачи: выделение наиболее ценных участков по полевым и гербарным данным и получение карты лесов с

доминированием *Abies nordmanniana*. Для решения второй задачи необходимо привлечение данных дистанционного зондирования, для того чтобы обеспечить выделение пихтовых лесов на всей территории

по однообразным критериям и экстраполировать данные полевых исследований. Метод самообучающихся нейронных сетей и иерархический подход вкупе с увеличением количества входных данных для обучения классификатора и валидацией по специально собранным полевым данным может улучшить качество дешифрирования темнохвойных лесов и позволить извлечь из космических снимков еще более детальную информацию о состоянии сомкнутости темнохвойных (кавказской пихты *Abies nordmanniana* (Stev.) Spach и восточной ели *Picea orientalis* (L.) Link.).

Территория исследования – южные районы Краснодарского края, Адыгеи и Карачаево-Черкесии. Карта распространения темнохвойных лесов (рис. 3) создана с помощью автоматизированной классификации методом самообучающихся нейронных сетей под предварительно полученной методом ISODATA маской лесов в программе ScanEx ImageProcessor по снимкам Landsat TM (разрешение 30 м; в качестве опорных были выбраны пиксели, соответствующие

геоботаническим описаниям; количество эталонных участков на каждую сцену составило около 200), а затем верифицирована по продукту TerraLook Aster (15 м), снимкам разрешением 0.6–15 м, доступным в программе GoogleEarth, и зимним снимкам Landsat ETM+ в узлах регулярной сетки 2 на 2 км (4856 контрольных точек). Для получения данных о сомкнутости темнохвойных в пологе древостоя в четырех градациях (пихты/ели нет; возможное участие; участие 20–40 %; преобладание темнохвойных (участие более 40 %)) использованы отдельные 2, 3, 4 и 5-спектральные каналы снимки Landsat TM (разрешение 30 м). Источником эталонов стали 224 детальных геоботанических описания. Результат автоматизированной классификации под маской лесов методом самообучающихся нейронных сетей в программе ScanEx ImageProcessor был автоматически откалиброван по точкам геоботанических описаний. Полученная карта верифицирована по 167 точкам кратких маршрутных описаний.

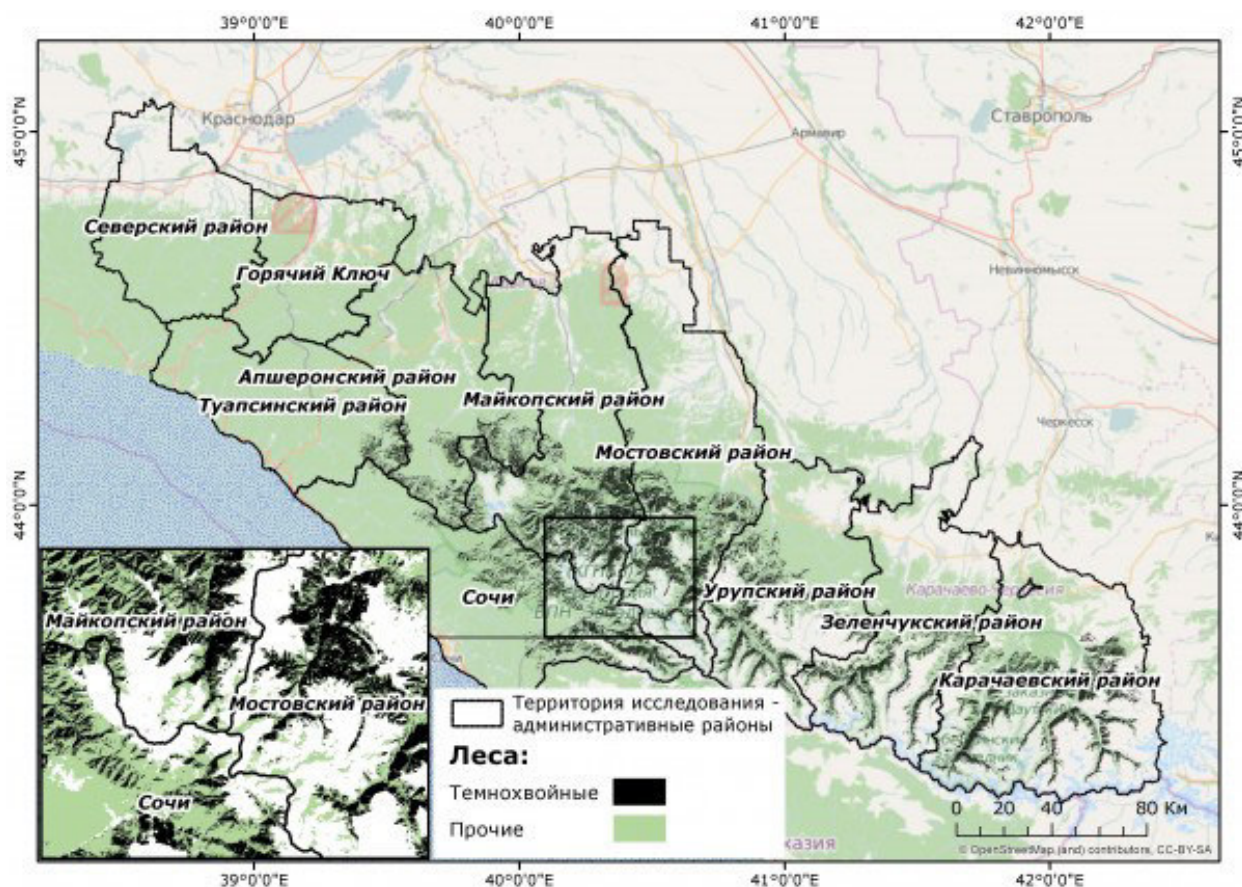


Рис. 3. Темнохвойные леса российской части Северо-Западного Кавказа
Fig. 3. Dark-coniferous forests in the Russian part of the North-West Caucasus

Слой темнохвойных лесов (таких, где пихта или, редко, ель преобладают в полог над другими породами) успешно верифицирован (точность 95.9 %, коэффициент каппа Коэна, позволяющий учесть отличие полученного распределения значений матрицы ошибок от случайного (Малышева, 2012), – 0.81), их площадь в трех регионах Северо-Западного Кавказа составила всего 236.9 тыс. га (или 12.2 % от всех лесов). Данные о сомкнутости пихты и ели, верифицированные по маршрутным описаниям, показали меньшую точность: 84.1 % в нечетких границах классов (Fassnacht et al., 2006), каппа Коэна 0.6, – но также приемлемы. При этом два результирующих массива данных, полученных независимо, хорошо соотносятся между собой.

Заключение или выводы

Обработка данных дистанционного зондирования Земли – актуальный и важный метод биологических исследований. При выборе типа данных и программы для их обработки следует руководствоваться принципом «от простого к сложному»: если не стоит задачи изучить много разных программ и методов дистанционного зондирования (что, конечно, может быть очень полезно, но предполагает для начала ознакомление со специальной литературой), стоит сначала узнать, могут ли более простая программа и данные глубокой обработки выполнить требования исследователя. Уже самые простые программы открывают большие возможности для планирования исследований.

Если же необходимо использовать данные дистанционного зондирования не только как подложку, но и как источник данных, приведенные выше примеры проектов и методов исследований помогут сориентироваться и определить, какие именно космические снимки, какое программное обеспечение и какие методы работы необходимо выбрать для решения поставленной задачи.

Ниже приведены простые алгоритмы для выбора данных и программы для исследования.

Для выбора космического снимка нужно определить необходимые характеристики данных, ответив на следующие вопросы:

– Каков размер объектов, которые нужно обнаружить на снимке?

– Как часто должны обновляться данные? Когда, по Вашему предположению, возникли объекты/явления, которые необходимо обнаружить?

– Насколько глобально распространён объект изучения? Какой должен быть размер сцены?

– Каковы необходимые спектральные диапазоны? Нужна ли возможность использовать спектральные каналы по отдельности? Нужны ли инфракрасные каналы? Планируете ли Вы использовать индексы вегетации, математические операции с каналами или классификацию?

Как выбрать программу для работы?

– Посмотреть, сопоставить снимки с собственными векторными данными, визуальное дешифрирование и оцифровка объектов с четкими границами – GoogleEarth, SAS-планета;

– Необходимость работы со спектральными каналами, визуальное дешифрирование и оцифровка объектов со сложными границами, создание картосхем, простейшая классификация (автоматизированное выделение объектов с четкими границами) – ArcGIS, QuantumGIS;

– Сложная классификация (автоматизированное выделение объектов с размытыми границами), извлечение скрытой информации, применение алгоритмов DataMining – ScanEx Image Processor, QuantumGIS+GDAL, PCI Geomatica, ENVI.

Дистанционное зондирование – мощный инструмент, который позволяет, с одной стороны, облегчить работу, а с другой – получить информацию, которую другим путем получить практически невозможно. Конечно, этот метод имеет разную эффективность в приложении к разным объектам исследования. Космические снимки незаменимы в мониторинговых исследованиях и для глобальных оценок; они очень эффективны при изучении лесных сообществ, что подтверждается огромным количеством исследований. Применение этого метода при изучении нелесных сообществ или отдельных видов несколько сложнее (и, как следствие, в этих областях ДЗЗ используется не так широко), но и тут космические снимки дают много полезной информации, и с увеличением доступности и разнообразия методов обработки проекты с использованием ДЗЗ в этих областях встречаются все чаще.

Есть все основания предположить, что количество научных работ с использованием серьезных методов обработки ДЗЗ также будет постепенно увеличиваться, потому что именно в пограничной между био-

логическими науками и анализом ДЗЗ области еще могут быть сделаны интересные открытия закономерностей состава и функционирования биологических систем на уровне организмов и сообществ.

Библиография

- Аксенов Д. Е., Дубинин М. Ю., Карпачевский М. Л., Ликсакова Н., Скворцов В., Смирнов Д., Яницкая Т. Выделение лесов высокой природоохранной ценности в Приморском крае. Категории, важные для сохранения растительного покрова. Владивосток; М., 2006. 186 с.
- Антипин В. К., Токарев П. Н. Структурная организация и картирование болот национального парка «Водлозерский» // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. № 1–6. С. 1584–1586.
- Архипова М. В. Анализ современного состояния широколиственных лесов среднерусской возвышенности с использованием космических снимков Landsat // Фундаментальные исследования. 2013. № 11–6. С. 1181–1185.
- Барталев С. А., Ершов Д. В., Исаев А. С., Потапов П. В., Турубанова С. А., Ярошенко А. Ю. Леса России: преобладающие группы древесных пород и сомкнутость древесного полога: Карта масштаба 1:14 000 000. М., 2004. URL:<http://forestforum.ru/info/pictures/rusmap.pdf> (дата обращения: 27.03.2016).
- Барталев С. А., Егоров В. А., Ершов Д. В., Исаев А. С., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Уваров И. А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 285–302.
- Барталев С. А., Лупян Е. А. Исследования и разработки ИКИ РАН по развитию методов спутникового мониторинга растительного покрова // Исследования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 1. С. 197–217.
- Владимиров И. Н., Софронов А. П., Сороковой А. А., Кобылкин Д. В., Фролов А. А. Структура растительного покрова западной части Верхнеангарской котловины // География и природные ресурсы. 2014. № 2. С. 44–53.
- Гаврилюк Е. А., Ершов Д. В. Методика совместной обработки разносезонных изображений Landsat-TM и создания на их основе карты наземных экосистем Московской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. 2012. Т. 9. № 4. С. 15–23.
- Дубовик Д. С., Якутин М. В. Динамика экосистем Улуг-Хемской котловины Республики Тыва по данным дистанционного зондирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. № 3. С. 56–60.
- Елсаков В. В., Володин В. В., Чадин И. Ф., Паршина Е. И., Марущак И. О. Спутниковый мониторинг в оценке ресурсов аконита высокого на Приполярном Урале // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. № 1–4. С. 1123–1129.
- Ермаков Н. Б., Полякова М. А., Черникова Т. С. Картографирование лесной растительности в горах Алтае-Саянской горной области // Вестник Новосибирского государственного университета. Сер.: Биология, клиническая медицина. 2012. Т. 10.2. С. 24–30.
- Жарко В. О., Барталев С. А. Оценка распознаваемости древесных пород леса на основе спутниковых данных о сезонных изменениях их спектрально-отражательных характеристик // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 3. С. 159–170.
- Завадская А. В., Яблоков В. М. Эколого-географические основы рекреационного использования термальных экосистем (на примере долины р. Гейзерной) // Труды Кроноцкого государственного природного заповедника. Воронеж, 2014. Вып. 3. С. 190–208.
- Исаев А. С., Черненко Т. В. Мониторинг биоразнообразия лесов: подходы и результаты // Лесные ресурсы таежной зоны России: проблемы лесопользования и лесовосстановления: Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2009. С. 60–62.
- Климина Е. М., Остроухов А. В. Анализ динамики нарушенности темнохвойных лесов Северного Сихоте-Алиня на основе использования спутниковых данных // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1–4. С. 996–1000.
- Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. Н. Аэрокосмические методы географических исследований. М., 2004. 336 с.
- Колесникова О. Н., Черепанов А. С. Возможности ПК ENVI для обработки мультиспектральных и гиперспектральных данных // Геоматика. 2009. № 3. С. 24–27.
- Комарова А. Ф. Создание карты участия пихты *Abies nordmanniana* (Stev.) Spach в древостое методом нейронных сетей // Ломоносов-2012: Тез. докл. М., 2012. С. 294–295.

- Комарова А. Ф., Куксина Н. В., Бобровский М. В., Плотников М. П. Леса высокой природоохранной ценности в зоне распространения лесов из пихты кавказской *Abies nordmanniana* (Stev.) Sprach. (Краснодарский край, Республика Адыгея) // Вестник Российского университета дружбы народов. 2010. № 5. С. 56–61.
- Кравцова В. И. Методические подходы в аэрокосмических исследованиях динамики северной границы леса // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 133–139.
- Курбанов Э. А., Воробьев О. Н., Губаев А. В., Лежнин С. А., Полевщикова Ю. А., Демишева Е. Н. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 1. С. 18–32.
- Курбанов Э. А., Воробьев О. Н., Незамаев С. А., Губаев А. В., Лежнин С. А., Полевщикова Ю. А. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 3 (19). С. 72–82.
- Лабутина И. А., Балдина Е. А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ. М., 2011. 88 с.
- Липшиц С. Ю. К познанию флоры и растительности горячих источников Камчатки // Бюлл. МОИП. Отд. Биол. 1936. Т. 45. № 2. С. 143–158.
- Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: Учебник. М., 2010. 424 с.
- Малышева Н. В. Автоматизированное дешифрирование аэрокосмических изображений лесных насаждений. М., 2012. 154 с.
- Мячина К. В. Дистанционный мониторинг растительного покрова на участке естественной степи в Оренбургской области // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. № 5. С. 178–181.
- Нешатаева В. Ю. Растительность полуострова Камчатка. М., 2009. 537 с.
- Пономарёв Е. И., Исмаилова Д. М., Назимова Д. И. Спутниковый мониторинг горных лесных экосистем Саян // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2011. № 4(1). С. 75–85.
- Попова Т. А., Бычкова И. А. Дистанционные методы в изучении растительного покрова // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы: Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. СПб., 2011. Т. 1. С. 404–408.
- Попова Т. А., Бычкова И. А. Заращение водоемов на Северо-Западе России воздушно-водной и водной растительностью в различных экологических условиях // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1(6). С. 1515–1518.
- Потапов П. В., Ярошенко А. Ю., Турубанова С. А. Малонарушенные лесные территории севера Европейской России // Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность: В 2 кн. М.: Наука, 2004. С. 146–153.
- Пузаченко М. Ю., Котлов И. П., Черненькова Т. В. Технологическая схема мониторинга природных объектов с использованием ДДЗ и ГИС-технологий // Мониторинг биологического разнообразия лесов России: методология и методы. М., 2008. С. 347–355.
- Пузаченко М. Ю., Черненькова Т. В., Басова Е. В. Природно-антропогенная вариабельность растительного покрова центральной части Мурманской области и ее картографическое отображение // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы: Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. СПб., 2011. Т. 1. С. 408–411.
- Рассказов А. А., Галаганова Л. А. Использование данных Landsat для оценки динамики изменений растительного покрова на территории Мещеры // Научные труды Института непрерывного профессионального образования. 2014. № 3. С. 236–239.
- Савельев А. А. Биохорологическое разнообразие и моделирование пространственной структуры растительного покрова (геоинформационный подход): Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Казань, 2004. 244 с.
- Слабухина С. В. Изучение морфологической структуры микроландшафтов Васюганского болотного комплекса на основе дешифрирования космических снимков // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 388. С. 253–256.
- Ткачук Т. Е. Многолетняя динамика растительности Даурского заповедника по данным спутникового зондирования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1(5). С. 1391–1394.
- Трасс Х. Х. О растительности окрестностей горячих ключей и гейзеров долины реки Гейзерной полуострова Камчатки // Исследование природы Дальнего Востока. Таллин, 1963. С. 112–146.
- Финиченко Е. Н., Дмитриев В. В. Моделирование вегетационных параметров водно-болотной растительности западносибирского региона на основе базы метеоданных и данных

- радиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 239–245.
- Ханов З. М., Пшегусов Р. Х. Опыт использования пространственного анализа и моделирования распространения избранных видов лишайников Центрального Кавказа (на примере Кабардино-Балкарской Республики) // Лихенология в России: актуальные проблемы и перспективы исследований. СПб., 2014. С. 221–230.
- Хворостухин Д. П., Кликунов А. А. Применение ГИС, данных дистанционного зондирования Земли и преобразования Tasseled cap для изучения современной растительности ландшафтов региона // Известия Саратовского университета. Нов. сер. Сер.: Науки о Земле. 2013. Т. 13. Вып. 2. С. 40–42.
- Чандра А. М., Гош С. К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М., 2008. 312 с.
- Черненко Т. В., Левицкая Н. Н., Козлов Д. Н., Тихонова Е. В., Огуреева Г. Н., Пестерова О. А. Оценка состояния и динамики биоразнообразия лесов Московской области с использованием наземных и дистанционных методов // Разнообразие и динамика лесных экосистем России: В 2 кн. М., 2012. Кн. 1. С. 316–370.
- Черосов М. М., Аммосова Е. В., Троева Е. И. К корректировке контуров мелкомасштабной карты растительности северо-востока Якутии (опыт применения ГИС-технологий и анализа карты) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1–6. С. 1656–1659.
- Шабанов Д. И., Иолин М. М., Борзова А. С., Агошкова Е. В. Использование ГИС-технологий и методов ДЗЗ при анализе пространственного распределения опустынивания на территории Северного Прикаспия // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 11. Естеств. науки. 2014. № 4 (10). С. 48–56.
- Шарикалов А. Г., Якутин М. В. Анализ состояния таежных экосистем с использованием методики автоматизированного дешифрирования // Известия Алтайского государственного университета. 2014. № 3. С. 123–127.
- Шипунов А. Б., Балдин Е. М., Волкова П. А., Коробейников А. И., Назарова С. А., Петров С. В., Суфиянов В. Г. Наглядная статистика. Используем R! . М., 2012. 298 с.
- Шовенгердт Р. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М., 2010. 560 с.
- Яблоков В. М., Завадская А. В. Геоинформационное моделирование температурного поля гидротермальных систем (на примере долины р. Гейзерной) // Геодезия и картография. 2013. № 3. С. 24–31.
- Ярошенко А. Ю., Добрынин Д. А., Егоров А. В., Журавлева И. В., Маниша А. Е., Потапов П. В., Турубанова С. А., Хакимулин Е. В. Леса центра и севера Европейской России: Карта масштаба 1:4500000. М., 2008. URL:http://forestforum.ru/info/map_for_print.pdf (дата обращения: 27.03.2016).
- Bannari A., Morin D., Bonn F., Huete A. R. A review of vegetation indices // Rem. Sens. Reviews. 1995. Vol. 13: 1–2. P. 95–120.
- Banskota A., Kayastha N., Falkowski M., Wulder M. A., Froese R. E., White J. C. Forest monitoring using Landsat time-series data: A review // Canadian Journal of Rem. Sens. 2014. Vol. 40. № 5. P. 362–384. DOI:10.1080/07038992.2014.987376.
- Barrachina M., Cristóbal J., Tulla A. F. Estimating above-ground biomass on mountain meadows and pastures through remote sensing // Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf. 2015. Vol. 38. P. 184–192. DOI: 10.1016/j.jag.2014.12.002.
- Bartalev S. A., Belward A. S., Erchov D. V., Isaev A. S. A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia // Int. J. of Rem. Sens. 2003. Vol. 24(9). P. 1977–1982.
- Beck P. S. A., Jönsson P., Høgda K.-A., Karlsen S. R., Eklundh L., Skidmore A. K. A ground-validated NDVI dataset for monitoring vegetation dynamics and mapping phenology in Fennoscandia and the Kola peninsula // Int. J. of Rem. Sens. 2007. Vol. 28:19. P. 4311–4330. DOI: 10.1080/01431160701241936.
- Bradley B. A., Mustard J. F. Characterizing the landscape dynamics of an invasive plant and risk of invasion using remote sensing // Ecological Applications. 2006. Vol. 16(3). P. 1132–1147. DOI: 10.1890/1051-0761(2006)0162.0.CO;2.
- Bradley B. A. Remote detection of invasive plants: a review of spectral, textural and phenological approaches // Biological Invasions. 2014. Vol. 16.7. P. 1411–1425. DOI: 10.1007/s10530-013-0578-9.
- Buchanan G. M., Brink A. B., Leidner A. K., Rose R., Wegmann M. Advancing terrestrial conservation through remote sensing // Ecological Informatics. 2015 (in press).

- Buck O., Millán V. E. G., Klink A., Pakzad K. Using information layers for mapping grassland habitat distribution at local to regional scales // *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2015. Vol. 37. P. 83–89. DOI: 10.1016/j.jag.2014.10.012.
- Camathias L., Bergamini A., Kuchler M., Stofer S., Baltensweiler A. High-resolution remote sensing data improves models of species richness // *Applied Vegetation Science*. 2013. Vol. 16.4. P. 539–551. DOI: 10.1111/avsc.12028.
- Chen Y., Dengsheng L., Geping L., Jingfeng H. Detection of vegetation abundance change in the alpine tree line using multitemporal Landsat Thematic Mapper imagery // *Int. J. of Rem. Sens.* 2015. Vol. 36:18. P. 4683–4701. DOI: 10.1080/01431161.2015.1088675.
- Cohen W. B., Spies T. A. Estimating structural attributes of Douglas-fir/western hemlock forest stands from Landsat and Spot imagery // *Rem. Sens. of Env.* 1992. № 41(1). P. 1–17. DOI: 10.1016/0034-4257(92)90056-P.
- Cord A., Rödder D. Inclusion of habitat availability in species distribution models through multi-temporal remote sensing data? // *Ecological Applications*. 2011. Vol. 21(8). P. 3285–3298. DOI: 10.1890/11-0114.1.
- Cord A. F., Klein D., Mora F., Dech S. Comparing the suitability of classified land cover data and remote sensing variables for modeling distribution patterns of plants // *Ecological Modelling*. 2014. Vol. 272. P. 129–140. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2013.09.011.
- Dalmayne J., Möckel T., Prentice H. C., Schmid B. C., Hall K. Assessment of fine-scale plant species beta diversity using WorldView-2 satellite spectral dissimilarity // *Ecological Informatics*. 2013. Vol. 18. P. 1–9. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2013.05.004.
- Davranchea A., Lefebvre G., Poulin B. Wetland monitoring using classification trees and SPOT-5 seasonal time series // *Rem. Sens. of Env.* 2010. Vol. 114. Issue 3. P. 552–562. DOI: 10.1016/j.rse.2009.10.009.
- DeFries R. S., Townshend J. R. G. NDVI-derived land cover classifications at a global scale // *Int. J. of Rem. Sens.* 1994. Vol. 15.17. P. 3567–3586. DOI: 10.1080/01431169408954345.
- Drusch M., Del Bello U., Carlier S., Colin O., Fernandez V., Gascon F., Hoersch B. et al. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services // *Rem. Sens. of Env.* 2012. Vol. 120. P. 25–36. DOI: 10.1016/j.rse.2011.11.026.
- Fassnacht F. E., Li L., Fritz A. Mapping degraded grassland on the Eastern Tibetan Plateau with multi-temporal Landsat 8 data—where do the severely degraded areas occur? // *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2015. Vol. 42. P. 115–127. DOI: 10.1016/j.jag.2015.06.005.
- Fassnacht K. S., Cohen W. B., Spies T. A. Key issues in making and using satellite-based maps in ecology: A primer // *Forest Ecology and Management*. 2006. Vol. 222. № 1. P. 167–181. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.09.026.
- Foody G. M. Status of land cover classification accuracy assessment // *Rem. Sens. of Env.* 2002. Vol. 80.1. P. 185–201. DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00295-4.
- Fox L. Essential Earth imaging for GIS. California, 2015. 115 p.
- Fuller D. O. Remote detection of invasive *Melaleuca* trees (*Melaleuca quinquenervia*) in South Florida with multispectral IKONOS imagery // *Int. J. of Rem. Sens.* 2005. Vol. 26:5. P. 1057–1063. DOI: 10.1080/01430060512331314119.
- Gallant A. L. The Challenges of Remote Monitoring of Wetlands // *Rem. Sens.* 2015. Vol. 7(8). P. 10938–10950. DOI: 10.3390/rs70810938.
- Gavier-Pizarro G. I., Kuemmerle T., Hoyo L. E., Stewart S. I., Huebner C. D., Keuler N. S., Radeloff V. C. Monitoring the invasion of an exotic tree (*Ligustrum lucidum*) from 1983 to 2006 with Landsat TM/ETM+ satellite data and Support Vector Machines in Córdoba, Argentina // *Rem. Sens. of Env.* 2012. Vol. 122. P. 134–145. DOI: 10.1016/j.rse.2011.09.023.
- Gillespie T. W., Foody G. M., Rocchini D., Giorgi A. P., Saatchi S. Measuring and modelling biodiversity from space // *Progress in Physical Geography*. 2008. Vol. 32(2). P. 203–221. DOI: 10.1177/0309133308093606.
- Gould W. Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots // *Ecological applications*. 2000. Vol. 10. № 6. P. 1861–1870. DOI: 10.1890/1051-0761(2000)010%5B1861:RSOVPS%5D2.0.CO%3B2.
- Hansen M. C., Townshend J. R. G., DeFries R. S., Carroll M. Estimation of tree cover using MODIS data at global, continental and regional/local scales // *Int. J. of Rem. Sens.* 2005. Vol. 26. № 19. P. 4359–4380. DOI: 10.1080/01431160500113435.
- Hojas-Gascón L., Belward A., Eva H., Ceccherini G., Hagolle O., Garcia J., Cerutti P. Potential improvement for forest cover and forest degradation mapping with the forthcoming Sentinel-2 program // *Int. Archives of the Photogram., Rem. Sens. & Spatial Inf. Sciences*. 2015. P. 417–423.

- Homolova L., Malenovský Z., Clevers J. G., Garcia-Santos G., Schaepman M. E. Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping // *Ecological Complexity*. 2013. Vol. 15. P. 1–16. DOI: 10.1016/j.ecocom.2013.06.003.
- Hou X., Gao S., Niu Z., Xu Z. Extracting grassland vegetation phenology in North China based on cumulative SPOT-VEGETATION NDVI data // *Int. J. of Rem. Sens.* 2014. Vol. 35:9. P. 3316–3330. DOI: 10.1080/01431161.2014.903437.
- Huang C., Asner G. P. Applications of Remote Sensing to Alien Invasive Plant Studies – Review // *Sensors*. 2009. Vol. 9(6). P. 4869–4889. DOI:10.3390/s90604869.
- Isaacson B. N., Serbin S. P., Townsend P. A. Detection of relative differences in phenology of forest species using Landsat and MODIS // *Landscape ecology*. 2012. Vol. 27. № 4. P. 529–543. DOI: 10.1007/s10980-012-9703-x.
- Johnston S. E., Henry M. C., Gorchoff D. L. Using Advanced Land Imager (ALI) and Landsat Thematic Mapper (TM) for the Detection of the Invasive Shrub *Lonicera maackii* in Southwestern Ohio Forests // *GIScience & Rem. Sens.* 2012. Vol. 49:3. P. 450–462. DOI: 10.2747/1548-1603.49.3.450.
- Joshi C., De Leeuw J., Skidmore A. K., Van Duren I. C., Van Oosten H. Remotely sensed estimation of forest canopy density: A comparison of the performance of four methods // *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2006. Vol. 8(2). P. 84–95. DOI: 10.1016/j.jag.2005.08.004.
- Karlson M., Ostwald M., Reese H., Sanou J., Tankoano B., Mattsson E. Mapping Tree Canopy Cover and Aboveground Biomass in Sudano-Sahelian Woodlands Using Landsat 8 and Random Forest // *Rem. Sens.* 2015. Vol. 7(8). P. 10017–10041. DOI: 10.3390/rs70810017.
- Klemas V. Remote sensing of wetlands: case studies comparing practical techniques // *Journal of Coastal Research*. 2011. Vol. 27. № 3. P. 418–427. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-10-00174.1.
- Krankina O. N., Pflugmacher D., Friedl M., Cohen W. B., Nelson P., Baccini A. Meeting the challenge of mapping peatlands with remotely sensed data // *Biogeosciences*. 2008. Vol. 5(6). P. 1809–1820. DOI: 10.5194/bg-5-1809-2008.
- Kuenzer C., Ottinger M., Wegmann M., Guo H., Wang C., Zhang J., Dech S., Wikelski M. Earth observation satellite sensors for biodiversity monitoring: potentials and bottlenecks // *Int. J. of Rem. Sens.* 2014. Vol. 35:18. P. 6599–6647. DOI: 10.1080/01431161.2014.964349.
- Laba M., Downs R., Smith S., Welsh S., Neider C., White S., Richmond M., Philpot W., Baveye, P. Mapping invasive wetland plants in the Hudson River National Estuarine Research Reserve using Quickbird satellite imagery // *Rem. Sens. of Env.* 2008. Vol. 112(1). P. 286–300. DOI: 10.1016/j.rse.2007.05.003.
- Laurin G. V., Frate F. D., Pasolli L., Notarnicola C., Guerriero L., Valentini R. Discrimination of vegetation types in alpine sites with ALOS PALSAR-, RADARSAT-2-, and lidar-derived information // *Int. J. of Rem. Sens.* 2013. Vol. 34:19. P. 6898–6913. DOI: 10.1080/01431161.2013.810823.
- Lehnert L. W., Meyer H., Wang Y., Miehe G., Thies B., Reudenbach C., Bendix, J. Retrieval of grassland plant coverage on the Tibetan Plateau based on a multi-scale, multi-sensor and multi-method approach // *Rem. Sens. of Env.* 2015. Vol. 164. P. 197–207. DOI: 10.1016/j.rse.2015.04.020.
- Leitão P. J., Schwieder M., Suess S., Catry I., Milton E. J., Moreira F., Osborne P. E., Pinto M.J., van der Linden S., Hostert P. Mapping beta diversity from space: Sparse generalised dissimilarity modelling (SGDM) for analysing high-dimensional data // *Methods Ecol. Evol.* 2015. Vol. 6. P. 764–771. DOI: 10.1111/2041-210X.12378.
- Levin N., Shmida A., Levanoni O., Tamari H., Kark S. Predicting mountain plant richness and rarity from space using satellite-derived vegetation indices // *Diversity and Distributions*. 2007. Vol. 13(6). P. 692–703. DOI: 10.1111/j.1472-4642.2007.00372.x.
- Liu W., Song C., Schroeder T. A., Cohen W. B. Predicting forest successional stages using multitemporal Landsat imagery with forest inventory and analysis data // *Int. J. of Rem. Sens.* 2008. Vol. 29:13. P. 3855–3872. DOI: 10.1080/01431160701840166.
- Margono B. A., Bwangoy J.-R. B., Potapov P. V., Hansen M. C. Mapping wetlands in Indonesia using Landsat and PALSAR data-sets and derived topographical indices // *Geo-spatial Information Science*. 2014. Vol. 17:1. P. 60–71. DOI: 10.1080/10095020.2014.898560.
- McRoberts R. E., Cohen W. B., Næsset E., Stehman S. V., Tomppo E.O. Using remotely sensed data to construct and assess forest attribute maps and related spatial products // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2010. Vol. 25:4. P. 340–367. DOI: 10.1080/02827581.2010.497496.
- Möckel T. Hyperspectral and multispectral remote sensing for mapping grassland vegetation: PhD diss. Lund University, 2015. 41 p.
- Mozumder C., Tripathi N. K., Tipdecho T. Ecosystem evaluation (1989–2012) of Ramsar wetland Deepor Beel using satellite-derived indices // *Environmental monitoring and assessment*. 2014. Vol. 186. № 11. P. 7909–7927. DOI: 10.1007/s10661-014-3976-2.

- Mui A., He Y., Weng Q. An object-based approach to delineate wetlands across landscapes of varied disturbance with high spatial resolution satellite imagery // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Rem. Sens.* 2015. Vol. 109. P. 30–46. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2015.08.005.
- Murray H., Lucieer A., Williams R. Texture-based classification of sub-Antarctic vegetation communities on Heard Island // *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2010. Vol. 12. № 3. P. 138–149. DOI: 10.1016/j.jag.2010.01.006.
- Nagendra H., Lucas R., Honrado J. P., Jongman R. H., Tarantino C., Adamo M., Mairota P. Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats // *Ecological Indicators.* 2013. Vol. 33. P. 45–59. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.09.014.
- Nilsen L., Arnesen G., Joly D., Malnes E. Spatial modelling of Arctic plant diversity // *Biodiversity.* 2013. Vol. 14:1. P. 67–78. DOI: 10.1080/14888386.2012.717008.
- Odindi J., Adam E., Ngubane Z., Mutanga O., Slotow R. Comparison between WorldView-2 and SPOT-5 images in mapping the bracken fern using the random forest algorithm // *Journal of Applied Rem. Sens.* 2014. Vol. 8(1). P. 083527-1 – 083527-16. DOI: 10.1117/1.JRS.8.083527.
- Onojeghuo A. O., Blackburn G. A. Mapping reedbed habitats using texture-based classification of QuickBird imagery // *Int. J. of Rem. Sens.* 2011. Vol. 32. № 23. P. 8121–8138. DOI: 10.1080/01431161.2010.532822.
- Ozesmi S. L., Bauer M. E. Satellite remote sensing of wetlands // *Wetlands ecology and management.* 2002. Vol. 10. № 5. P. 381–402. DOI: 10.1023/A:1020908432489.
- Parviainen M., Luoto M., Heikkinen R. K. The role of local and landscape level measures of greenness in modelling boreal plant species richness // *Ecological Modelling.* 2009. Vol. 220. № 20. P. 2690–2701. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2009.07.017.
- Parviainen M., Zimmermann N. E., Heikkinen R. K., Luoto M. Using unclassified continuous remote sensing data to improve distribution models of red-listed plant species // *Biodiversity and Conservation.* 2013. Vol. 22. P. 1731–1754. DOI: 10.1007/s10531-013-0509-1.
- Peterson E. B. Estimating cover of an invasive grass (*Bromus tectorum*) using tobit regression and phenology derived from two dates of Landsat ETM+ data // *Int. J. of Rem. Sens.* 2005. Vol. 26:12. P. 2491–2507. DOI: 10.1080/01431160500127815.
- Petrou Z. I., Manakos I., Stathaki T. Remote sensing for biodiversity monitoring: a review of methods for biodiversity indicator extraction and assessment of progress towards international targets // *Biodiversity and Conservation.* 2015. Vol. 24. № 10. P. 2333–2363. DOI: 10.1007/s10531-015-0947-z.
- Pettorelli N., Vik J. O., Mysterud A., Gaillard J.-M., Tucker C. J., Stenseth N. C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change // *Trends in Ecology and Evolution.* 2005. Vol. 20. P. 503–510. DOI: 10.1016/j.tree.2005.05.011.
- Petus C., Lewis M., White D. Monitoring temporal dynamics of Great Artesian Basin wetland vegetation, Australia, using MODIS NDVI // *Ecological Indicators.* 2013. Vol. 34. P. 41–52. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.04.009.
- Pflugmacher D., Cohen W. B., Kennedy R. E. Using Landsat-derived disturbance history (1972–2010) to predict current forest structure // *Rem. Sens. of Env.* 2012. Vol. 122. P. 146–165. DOI: 10.1016/j.rse.2011.09.025.
- Polychronaki A., Spindler N., Schmidt A., Stoinschek B., Zebisch M., Renner K., Sonnenschein R., Notarnicola C. Integrating RapidEye and ancillary data to map alpine habitats in South Tyrol // *Italy Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2015. Vol. 37. P. 65–71. DOI: 10.1016/j.jag.2014.11.008.
- Potapov P., Turubanova S., Hansen M. C. Regional-scale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European Russia // *Rem. Sens. of Env.* 2011. Vol. 115. № 2. P. 548–561.
- Potapov P. V., Turubanova S. A., Tyukavina A., Krylov A. M., McCarty J. L., Radeloff V. C., Hansen M. C. Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive // *Rem. Sens. of Env.* 2015. Vol. 159. P. 28–43. DOI: 10.1016/j.rse.2014.11.027.
- Pouteau R., Meyer J. Y., Taputuarai R., Stoll B. Support vector machines to map rare and endangered native plants in Pacific islands forests // *Ecological Informatics.* 2012. Vol. 9. P. 37–46. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2012.03.003.
- Price K. P., Guo X., Stiles J. M. Optimal Landsat TM band combinations and vegetation indices for discrimination of six grassland types in eastern Kansas // *Int. J. of Rem. Sens.* 2002. Vol. 23:23. P. 5031–5042. DOI: 10.1080/01431160210121764.
- Rapinel S., Clément B., Magnanon S., Sellin V., Hubert-Moy L. Identification and mapping of natural vegetation on a coastal site using a Worldview-2 satellite image // *Journal of environmental management.* 2014. Vol. 144. P. 236–246. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.05.027.

- Rapinel S., Bouzillé J. B., Oszwald J., Bonis A. Use of bi-Seasonal Landsat-8 Imagery for Mapping Marshland Plant Community Combinations at the Regional Scale // *Wetlands*. 2015. Vol. 35. Issue 6. P. 1043–1054. DOI: 10.1007/s13157-015-0693-8.
- Red Data Book of Plant Communities in the former USSR. Birmingham, 1997. 69 p.
- Reese H., Nyström M., Nordkvist K., Olsson H. Combining airborne laser scanning data and optical satellite data for classification of alpine vegetation // *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2014. Vol. 27. P. 81–90. DOI: 10.1016/j.jag.2013.05.003.
- Resasco J., Hale A. N., Henry M. C., Gorchoff D. L. Detecting an invasive shrub in a deciduous forest understory using late-fall Landsat sensor imagery // *Int. J. Remote Sens.* 2007. Vol. 29. P. 3739–3745. DOI: 10.1080/01431160701373721.
- Richards J. A., Jia X. Remote sensing digital image analysis. An introduction. Berlin, 2006. 439 p.
- Rocchini D. Effects of spatial and spectral resolution in estimating ecosystem α -diversity by satellite imagery // *Rem. Sens. of Environ.* 2007. Vol. 111. P. 423–434. DOI: 10.1016/j.rse.2007.03.018.
- Rocchini D., Balkenhol N., Carter G. A., Foody G. M., Gillespie T. W., He K. S., Kark S., Levin N., Lucas K., Luoto M., Nagendra H., Oldeland J., Ricotta C., Southworth J., Neteler M. Remotely sensed spectral heterogeneity as a proxy of species diversity: recent advances and open challenges // *Ecol. Inform.* 2010. Vol. 5. P. 318–329. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2010.06.001.
- Rocchini D., Andreo V., Förster M., Garzon-Lopez C. X., Gutierrez A. P., Gillespie T. H., Hauffe H. C., He K. S., Kleinschmit B., Mairota P., Marcantonio M., Metz M., Nagendra N., Pareeth S., Ponti L., Ricotta C., Rizzoli A., Schaab G., Zebisch M., Zorer R., Neteler M. Potential of remote sensing to predict species invasions. A modelling perspective // *Prog. Phys. Geogr.* 2015a. Vol. 39. P. 283–309.
- Rocchini D., Hernández-Stefanoni J. L., He K. S. Advancing species diversity estimate by remotely sensed proxies: a conceptual review // *Ecol. Inform.* 2015b. Vol. 25. P. 22–28. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2014.10.006.
- Rodriguez-Galiano V. F., Chica-Rivas M. Evaluation of different machine learning methods for land cover mapping of a Mediterranean area using multi-seasonal Landsat images and Digital Terrain Models // *Int. J. of Digital Earth.* 2014. Vol. 7. № 6. P. 492–509. DOI: 10.1080/17538947.2012.748848.
- Schaffrath D., Barthold F. K., Bernhofer C. Spatiotemporal variability of grassland vegetation cover in a catchment in Inner Mongolia, China, derived from MODIS data products // *Plant and soil.* 2011. Vol. 340. №1–2. P. 181–198. DOI: 10.1007/s11104-010-0465-4.
- Schmidt M., König K., Müller J. V. Modelling species richness and life form composition in Sahelian Burkina Faso with remote sensing data // *Journal of Arid Environments.* 2008. Vol. 72. P. 1506–1517. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2008.02.015.
- Schuster C., Schmidt T., Conrad C., Kleinschmit B., Förster, M. Grassland habitat mapping by intra-annual time series analysis—Comparison of RapidEye and TerraSAR-X satellite data // *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2015. Vol. 34. P. 25–34. DOI: 10.1016/j.jag.2014.06.004.
- Sexton J. O., Song X.-P., Feng M., Noojipady P., Anand A., Huang C., Kim D.-H., Collins K. M., Channan S., DiMiceli C., Townshend J. R. Global, 30-m resolution continuous fields of tree cover: Landsat-based rescaling of MODIS vegetation continuous fields with lidar-based estimates of error // *Int. J. of Digital Earth.* 2013. Vol. 6:5. P. 427–448. DOI: 10.1080/17538947.2013.786146.
- Shmitt U., Ruppert G. S. Forest classification of multitemporal mosaicked satellite images // *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing.* 1996. Vol. XXXI. Part B7. P. 602–605.
- Short N. M. The LANDSAT Tutorial Workbook: Basics of Satellite Remote Sensing. NASA Reference Publication 1078. NASA. 2011. URL:http://pdf20.termsbooks.org/pdf/the-landsat-tutorial-workbook-basics-of-satellite-remote-sensing-nasa-re_d7mnnv.pdf (дата обращения: 05.12.2015).
- Shouse M., Liang L., Fei S. Identification of understory invasive exotic plants with remote sensing in urban forests // *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2013. Vol. 21. P. 525–534. DOI: 10.1016/j.jag.2012.07.010.
- Silva T. S., Costa M. P., Melack J. M., Novo E. M. Remote sensing of aquatic vegetation: theory and applications // *Env. Monit. and Assessment.* 2008. Vol. 140(1–3). P. 131–145. DOI: 10.1007/s10661-007-9855-3.
- Somodi I., Čarni A., Ribeiro D., Podobnikar T. Recognition of the invasive species *Robinia pseudacacia* from combined remote sensing and GIS sources // *Biological conservation.* 2012. Vol. 150(1). P. 59–67. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.02.014.
- Stehman S. V., Czaplewski R. L. Design and analysis for thematic map accuracy assessment: fundamental principles // *Rem. Sens. of Env.* 1998. Vol. 64. P. 331–344. DOI: 10.1016/S0034-4257(98)00010-8.
- Stow D. A., Hope A., McGuire D., Verbyla D., Gamon J., Huemmrich F., Houston S., Racine C., Sturm M., Tape K., Hinzman L., Yoshikawa K., Tweedie C., Noyle B., Silapaswan C., Douglas D., Griffith B., Jia

- G., Epstein H., Walker D., Daeschner S., Petersen A., Zhou L., Myneni R. Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra Ecosystems // *Rem. Sens. of Env.* 2004. Vol. 89(3). P. 281–308. DOI: 10.1016/j.rse.2003.10.018.
- Townsend P. A., Walsh S. J. Remote sensing of forested wetlands: application of multitemporal and multispectral satellite imagery to determine plant community composition and structure in southeastern USA // *Plant Ecology*. 2001. Vol. 157. № 2. P. 129–149. DOI: 10.1023/A:1013999513172.
- Tuanmu M. N., Viña A., Bearer S., Xu W., Ouyang Z., Zhang H., Liu, J. Mapping understory vegetation using phenological characteristics derived from remotely sensed data // *Rem. Sens. of Env.* 2010. Vol. 114(8). P. 1833–1844. DOI: 10.1016/j.rse.2010.03.008.
- Tucker C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation // *Rem. Sens. of Env.* 1979. Vol. 8. P. 127–150. DOI: 10.1016/0034-4257(79)90013-0.
- Turner W., Spector S., Gardiner N., Fladerland M., Sterling E., Steininger M. Remote sensing for biodiversity science and conservation // *Trends Ecol. Evol.* 2003. Vol. 18. P. 306–314. DOI: 10.1016/S0169-5347(03)00070-3.
- Turner W., Rondinini C., Pettorelli N., Mora B., Leidner A. K., Szantoi Z., Buchanan G., Dech S., Dwyer J., Herold M., Koh L. P., Leimgruber P., Taubenboeck H., Wegmann M., Wikelski M., Woodcock, C. Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation // *Biological Conservation*. 2015. Vol. 182. P. 173–176. DOI: 10.1016/j.biocon.2014.11.048.
- Vanselow K. A., Samimi C. Predictive mapping of dwarf shrub vegetation in an arid high mountain ecosystem using remote sensing and random forests // *Rem. Sens.* 2014. Vol. 6(7). P. 6709–6726. DOI: 10.3390/rs6076709.
- Viedma O., Torres I., Pérez B., Moreno J. M. Modeling plant species richness using reflectance and texture data derived from QuickBird in a recently burned area of Central Spain // *Rem. Sens. of Env.* 2012. Vol. 119. P. 208–221. DOI: 10.1016/j.rse.2011.12.024.
- Wang C., Guo H., Zhang L., Qiu Y., Sun Z., Liao J., Liu G., Zhang Y. Improved alpine grassland mapping in the Tibetan Plateau with MODIS time series: a phenology perspective // *Int. J. of Digital Earth*. 2015. Vol. 8. №2. P. 133–152. DOI: 10.1080/17538947.2013.860198.
- Wang Z. J., Jiao J. Y., Lei B., Su Y. An approach for detecting five typical vegetation types on the Chinese Loess Plateau using Landsat TM data // *Environmental monitoring and assessment*. 2015. Vol. 187(9). P. 1–16. DOI: 10.1007/s10661-015-4799-5.
- Whiteside T. G., Bartolo R. E. Mapping Aquatic Vegetation in a Tropical Wetland Using High Spatial Resolution Multispectral Satellite Imagery // *Remote Sens.* 2015. Vol. 7(9). P. 11664–11694. DOI: 10.3390/rs70911664.
- Wilfong B. N., Gorchoff D. L., Henry M. C. Detecting an invasive shrub in deciduous forest understories using remote sensing // *Weed Science*. 2009. Vol. 57. № 5. P. 512–520. DOI: 10.1614/WS-09-012.1.
- Wright C., Gallant A. Improved wetland remote sensing in Yellowstone National Park using classification trees to combine TM imagery and ancillary environmental data // *Rem. Sens. of Env.* 2007. Vol. 107. № 4. P. 582–605. DOI: 10.1016/j.rse.2006.10.019.
- Xie Y., Sha Z., Yu M. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review // *Journal of plant ecology*. 2008. Vol. 1. № 1. P. 9–23. DOI: 10.1093/jpe/rtm005.
- Xie Y., Zhang A., Welsh W. Mapping Wetlands and Phragmites Using Publically Available Remotely Sensed Images // *Photogram. Engineering & Rem. Sens.* 2015. Vol. 81. №. 1. P. 69–78. DOI: <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.81.1.69>.
- Xu M., Watanachaturaporn P., Varshney P. K., Arora M. K. Decision tree regression for soft classification of remote sensing data // *Rem. Sens. of Env.* 2005. Vol. 97(3). P. 322–336. DOI: 10.1016/j.rse.2005.05.008.
- Zhang Y., Lu D., Yang B., Sun C., Sun M. Coastal wetland vegetation classification with a Landsat Thematic Mapper image // *Int. J. of Rem. Sens.* 2011. Vol. 32:2. P. 545–561. DOI: 10.1080/01431160903475241.

Open-source multispectral remote sensing data for the investigation of plant communities

KOMAROVA Anna *Greenpeace Russia, ana.komarova@greenpeace.org*

ZHURAVLEVA Ilona *Greenpeace Russia, ilona.zhuravleva@greenpeace.org*

YABLOKOV Vasily *Greenpeace Russia, vasily.yablokov@greenpeace.org*

Keywords:

satellite images
mapping plant
communities methodology

Summary: In the article the possibilities of the multispectral remote sensing data to study the plant communities are shown. The usage of open-source data in visual and infrared spectral bands is considered. The possible ways to receive free satellite images in different resolutions, the main methods of their analysis as well as the characteristics and the area of application of these images are presented. The information is specified with the examples of the projects realized at the GIS-Lab and Forest Unit of Greenpeace Russia.

References

- Aksenov D. E. Dubinin M. Yu. Karpachevskiy M. L. Liksakova N. Skvorcov V. Smirnov D. Yanickaya T. Mapping high conservation value forests of Primorsky kray, Russian Far East. Categories important for preservation of flora and vegetation. Vladivostok; M., 2006. 186 p.
- Antipin V. K. Tokarev P. N. Structural organization and mapping the mires of the national park "Vodlozersky", *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2012. No. 1–6. C. 1584–1586. Arhipova M. V. The analysis of the actual state of deciduous forests in Central Russian upland using Landsat satellite images, *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013. No. 11–6. C. 1181–1185. Bartalev S. A. Ershov D. V. Isaev A. S. Potapov P. V. Turubanova S. A. Yaroshenko A. Yu. Russia's Forests: Dominating Forest Types and Their Canopy Density: a map. M., 2004. URL: <http://forestforum.ru/info/pictures/rusmap.pdf> (data obrascheniya: 27.03.2016).
- Bartalev S. A. Egorov V. A. Ershov D. V. Isaev A. S. Lupyan E. A. Plotnikov D. E. Uvarov I. A. Mapping of Russia's vegetation cover using MODIS satellite spectroradiometer data, *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2011. T. 8. No. 4. C. 285–302. Bartalev S. A. Lupyan E. A. R&D on methods for satellite monitoring of vegetation by the Russian Academy of Science' Space Research Institute, *Issledovaniya Zemli iz kosmosa*. 2013. T. 10. No. 1. C. 197–217.
- Vladimirov I. N. Sofronov A. P. Sorokovoy A. A. Kobylkin D. V. Frolov A. A. Vegetation structure of the west part of the Verkhneangarskaya hollow, *Geografiya i prirodnye resursy*. 2014. No. 2. P. 44–53.
- Gavrilyuk E. A. Ershov D. V. Methodology of processing of combined multiseasonal Landsat-TMs for mapping of Moscow region's terrestrial ecosystems, *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2012. T. 9. No. 4. C. 15–23.
- Dubovik D. S. Yakutin M. V. The ecosystems dynamics in the Ulug-Hem depression of the Republic of Tuva according to remote sounding, *Interespo Geo-Sibir'*. 2012. No. 3. C. 56–60. 58.
- Elsakov V. V. Volodin V. V. Chadin I. F. Parshina E. I. Maruschak I. O. Satellite monitoring in the estimation of aconite high resources in subpolar Urals, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2010. No. 1–4. C. 1123–1129.
- Ermakov N. B. Polyakova M. A. Chernikova T. C. Geobotanical mapping of forests in the Altai-Sayanian mountain region, *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta*. Ser.: *Biologiya, klinicheskaya medicina*. 2012. T. 10.2. C. 24–30.
- Zharko V. O. Bartalev S. A. Forest tree species recognizability assessment based on satellite data on their spectral-reflective seasonal changes, *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2014. T. 11. No. 3. C. 159–170.
- Zavadskaya A. V. Yablokov V. M. Ecological and geographical basis for recreation usage of thermal ecosystem (on the example of the Gejzernaya valley), *Trudy Kronockogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika. Voronezh*, 2014. Vyp. 3. P. 190–208.

- Isaev A. S. Chernen'kova T. V. Forest biodiversity monitoring: approaches and results, Lesnye resursy taezhnoy zony Rossii: problemy lesopol'zovaniya i lesovosstanovleniya: Materialy Vserop. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem. Petrozavodsk, 2009. P. 60–62.
- Klimina E. M. Ostrouhov A. V. The analysis of dark-coniferous forests disturbance dynamics in Northern Sikhote-Alin on the basis of using the satellite data, Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiyskoy akademii nauk. 2011. T. 13. No. 1–4. P. 996–1000.
- Knizhnikov Yu. F. Kravcova V. I. Tutubalina O. N. Aerospace methods for geographical research. M., 2004. 336 p.
- Kolesnikova O. N. Cherepanov A. S. PK ENVI's opportunities for multispectral and hyperspectral data processing, Geomatika. 2009. No. 3. P. 24–27.
- Komarova A. F. Fir (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach) share of forest crown layer: mapping with neural network method, Lomonosov-2012: Tez. dokl. M., 2012. P. 294–295.
- Komarova A. F. Kuksina N. V. Bobrovskiy M. V. Plotnikov M. P. An example of fir High Conservation Value Forests identification in Krasnodar and Adygeya regions, Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. 2010. No. 5. P. 56–61.
- Kravcova V. I. Procedural approaches for space imagery-based research of northern timber-line dynamics, Geografiya i prirodnye resursy. 2012. No. 3. P. 133–139.
- Kurbanov E. A. Vorob'ev O. N. Gubaev A. V. Lezhnin S. A. Polevschikova Yu. A. Demisheva E. N. Four decades of forest research with the use of Landsat images, Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Ser.: Lep. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. 2014. No. 1. P. 18–32.
- Kurbanov E. A. Vorob'ev O. N. Nezamaev S. A. Gubaev A. V. Lezhnin S. A. Polevschikova Yu. A. Thematic mapping and stratification of forests in Middle Zavolsgie by Landsat satellite images, Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Ser.: Lep. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. 2013. No. 3 (19). P. 72–82.
- Labutina I. A. Baldina E. A. Remote sensing data for the monitoring of protected areas' ecosystems. M., 2011. 88 p.
- Lipshic S. Yu. On the flora and vegetation of Kamchatka hot springs, Byull. MOIP. Otd. Biol. 1936. T. 45. No. 2. P. 143–158.
- Lur'e I. K. Geoinformational mapping. Methods of geoinformatics and digital processing of satellite images. M., 2010. 424 c.
- Malysheva N. V. Automated decoding of aerospace images of forests. M., 2012. 154 p.
- Myachina K. V. Remote monitoring of vegetation on the plot of natural steppe in the Orenburg region, Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. 2014. No. 5. P. 178–181.
- Neshataeva V. Yu. Vegetation of Kamchatka peninsula. M., 2009. 537 p.
- Ismailova D. M. Nazimova D. I. Satellite monitoring of Sayanian mountain forests, Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya. 2011. No. 4(1). P. 75–85.
- Popova T. A. Bychkova I. A. Remote sensing methods for vegetation research, Otechestvennaya geobotanika: osnovnye vehi i perspektivy: Materialy Vserop. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem. SPb., 2011. T. 1. P. 404–408.
- Popova T. A. Bychkova I. A. Overgrowing the water reservoirs in the North-West of Russia in various ecological conditions, Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiyskoy akademii nauk. 2012. T. 14. No. 1(6). P. 1515–1518.
- Potapov P. V. Yaroshenko A. Yu. Turubanova S. A. Intact forest areas in the North of European Russia, Vostochnoevropeyskie lesa: istoriya v golocene i sovremennost': V 2 kn. M.: Nauka, 2004. P. 146–153.
- Puzachenko M. Yu. Kotlov I. P. Chernen'kova T. The technological scheme of monitoring natural objects using GIS and RS methods, Monitoring biologicheskogo raznoobraziya lesov Rossii: metodologiya i metody. M., 2008. P. 347–355.
- Puzachenko M. Yu. Chernen'kova T. V. Basova E. V. Mapping of nature-anthropogenic variability of vegetation at the central part of Murmansk region, Otechestvennaya geobotanika: osnovnye vehi i perspektivy: Materialy Vserop. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem. SPb., 2011. T. 1. P. 408–411.
- Rasskazov A. A. Galaganova L. A. Landsat data for the assessment of dynamics and change in Meshchera vegetation, Nauchnye trudy Instituta nepreryvnogo professional'nogo obrazovaniya. 2014. No. 3. P. 236–239.
- Savel'ev A. A. Biochorological diversity and spatial modelling of vegetation (geoinformation approach). Kazan', 2004. 244 c.
- Slabuhina S. V. Studying the microlandscape of morphological structure of the Vasyugan peat by satellite images decoding, Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. No. 388. P. 253–256.

- Tkachuk T. E. Multi-year vegetation dynamics of Daurisky nature reserve according to remote-sensing data, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiyskoy akademii nauk*. 2012. T. 14. No. 1(5). P. 1391–1394.
- Trass H. H. On the vegetation of hot springs' surroundings in the Geyzernaya valley, Kamchatka peninsula, *Issledovanie prirody Dal'nego Vostoka*. Tallin, 1963. P. 112–146.
- Finichenko E. N. Dmitriev V. V. Simulation of vegetation parameters of wetlands vegetation of the West Siberian region by using satellite and ground data, *Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2011. T. 8. No. 4. P. 239–245.
- Hanov Z. M. Pshegusov R. H. Spatial analysis and distribution modelling of some lichens in Central Caucasus, *Lihenologiya v Rossii: aktual'nye problemy i perspektivy issledovaniy*. SPb., 2014. P. 221–230.
- Hvorostuhin D. P. Klikunov A. A. Application of GIS, remote sensing and tasseled cap transformation for the study of modern landscape plants region, *Izvestiya Saratovskogo universiteta*. Nov. ser. Ser.: Nauki o Zemle. 2013. T. 13. Vyp. 2. P. 40–42.
- Chandra A. M. Gosh S. K. *Remote Sensing and GIS*. M., 2008. 312 c
- Chernen'kova T. V. Levickaya N. N. Kozlov D. N. Tihonova E. V. Ogureeva G. N. Pesterova O. A. Biodiversity assessment of Moscow region's forests by field and remote sensing methods, *Raznoobrazie i dinamika lesnykh ekosistem Rossii: V 2 kn. M.*, 2012. Kn. 1. P. 316–370.
- Cherosov M. M. Ammosova E. V. Troeva E. I. On the correction of small-scale map contours of the vegetation in the north-eastern Yakutia (based on GIS methods and map analysis), *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiyskoy akademii nauk*. 2012. T. 14. No. 1–6. P. 1656–1659.
- Shabanov D. I. Iolin M. M. Borzova A. S. Agoshkova E. V. Use of GIS and remote sensing for estimation of the desertification of Northern Caspian region, *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta*. Ser. 11. Estestv. nauki. 2014. No. 4 (10). P. 48–56.
- Sharikalov A. G. Yakutin M. V. The Analysis of Taiga Ecosystems Condition Applying Automatic Decoding Method, *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014. No. 3. P. 123–127.
- Shipunov A. B. Baldin E. M. Volkova P. A. Korobeynikov A. I. Nazarova S. A. Petrov S. V. Sufiyarov V. G. *Pictorial statistic. Using R!*. M., 2012. 298 c.
- Shovengerdt R. *Remote sensing. Models and methods of image processing*. M., 2010. 560 p.
- Yablokov V. M. Zavadskaya A. V. Geoinformation modelling of temperature within geothermal systems (case study from the Geizernaya valley), *Geodeziya i kartografiya*. 2013. No. 3. P. 24–31.
- Yaroshenko A. Yu. Dobrynin D. A. Egorov A. V. Zhuravleva I. V. Manisha A. E. Potapov P. V. Turubanova S. A. Hakimulin E. V. *Forests of the Center and North of European Russia: a map*. M., 2008. URL: http://forestforum.ru/info/map_for_print.pdf (data obrascheniya: 27.03.2016).
- Bannari A., Morin D., Bonn F., Huete A. R. A review of vegetation indices, *Rem. Sens. Reviews*. 1995. Vol. 13: 1–2. P. 95–120.
- Banskota A., Kayastha N., Falkowski M., Wulder M. A., Froese R. E., White J. C. Forest monitoring using Landsat time-series data: A review, *Canadian Journal of Rem. Sens.* 2014. Vol. 40. No. 5. P. 362–384. DOI:10.1080/07038992.2014.987376.
- Barrachina M., Cristóbal J., Tulla A. F. Estimating above-ground biomass on mountain meadows and pastures through remote sensing, *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2015. Vol. 38. P. 184–192. DOI: 10.1016/j.jag.2014.12.002.
- Bartalev S. A., Belward A. S., Erchov D. V., Isaev A. S. A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia, *Int. J. of Rem. Sens.* 2003. Vol. 24(9). P. 1977–1982.
- Beck P. S. A., Jönsson P., Høgda K. A., Karlsen S. R., Eklundh L., Skidmore A. K. A ground-validated NDVI dataset for monitoring vegetation dynamics and mapping phenology in Fennoscandia and the Kola peninsula, *Int. J. of Rem. Sens.* 2007. Vol. 28:19. P. 4311–4330. DOI: 10.1080/01431160701241936.
- Bradley B. A. Mustard J. F. 1132:CTLDOA2.0.CO;2. Bradley B. A. Remote detection of invasive plants: a review of spectral, textural and phenological approaches, *Biological Invasions*. 2014. Vol. 16.7. P. 1411–1425. DOI: 10.1007/s10530-013-0578-9.
- Buchanan G. M., Brink A. B., Leidner A. K., Rose R., Wegmann M. Advancing terrestrial conservation through remote sensing, *Ecological Informatics*. 2015 (in press).
- Buck O., Millán V. E. G., Klink A., Pakzad K. Using information layers for mapping grassland habitat distribution at local to regional scales, *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2015. Vol. 37. P. 83–89. DOI: 10.1016/j.jag.2014.10.012.
- Camathias L., Bergamini A., Küchler M., Stofer S., Baltensweiler A. High-resolution remote sensing data improves models of species richness, *Applied Vegetation Science*. 2013. Vol. 16.4. P. 539–551. DOI: 10.1111/avsc.12028.
- Chen Y., Dengsheng L., Geping L., Jingfeng H. Detection of vegetation abundance change in the alpine tree line using multitemporal Landsat Thematic Mapper imagery, *Int. J. of Rem. Sens.* 2015. Vol. 36:18. P. 4683–4701. DOI: 10.1080/01431161.2015.1088675.

- Cohen W. B., Spies T. A. Estimating structural attributes of Douglas-fir/western hemlock forest stands from Landsat and Spot imagery, *Rem. Sens. of Env.* 1992. No. 41(1). P. 1–17. DOI: 10.1016/0034-4257(92)90056-P.
- Cord A., Rödder D. Inclusion of habitat availability in species distribution models through multi-temporal remote sensing data?, *Ecological Applications*. 2011. Vol. 21(8). P. 3285–3298. DOI: 10.1890/11-0114.1.
- Cord A. F., Klein D., Mora F., Dech S. Comparing the suitability of classified land cover data and remote sensing variables for modeling distribution patterns of plants, *Ecological Modelling*. 2014. Vol. 272. P. 129–140. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2013.09.011.
- Dalmayne J., Möckel T., Prentice H. C., Schmid B. C., Hall K. Assessment of fine-scale plant species beta diversity using WorldView-2 satellite spectral dissimilarity, *Ecological Informatics*. 2013. Vol. 18. P. 1–9. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2013.05.004.
- Davranchea A., Lefebvre G., Poulin B. Wetland monitoring using classification trees and SPOT-5 seasonal time series, *Rem. Sens. of Env.* 2010. Vol. 114. Issue 3. P. 552–562. DOI: 10.1016/j.rse.2009.10.009.
- DeFries R. S., Townshend J. R. G. NDVI-derived land cover classifications at a global scale, *Int. J. of Rem. Sens.* 1994. Vol. 15.17. P. 3567–3586. DOI: 10.1080/01431169408954345.
- Drusch M., Del Bello U., Carlier S., Colin O., Fernandez V., Gascon F., Hoersch B. et al. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services, *Rem. Sens. of Env.* 2012. Vol. 120. P. 25–36. DOI: 10.1016/j.rse.2011.11.026.
- Fassnacht F. E., Li L., Fritz A. Mapping degraded grassland on the Eastern Tibetan Plateau with multi-temporal Landsat 8 data—where do the severely degraded areas occur?, *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2015. Vol. 42. P. 115–127. DOI: 10.1016/j.jag.2015.06.005.
- Fassnacht K. S., Cohen W. B., Spies T. A. Key issues in making and using satellite-based maps in ecology: A primer, *Forest Ecology and Management*. 2006. Vol. 222. No. 1. P. 167–181. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.09.026.
- Foody G. M. Status of land cover classification accuracy assessment, *Rem. Sens. of Env.* 2002. Vol. 80.1. P. 185–201. DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00295-4.
- Fox L. *Essential Earth imaging for GIS*. California, 2015. 115 p.
- Fuller D. O. Remote detection of invasive *Melaleuca* trees (*Melaleuca quinquenervia*) in South Florida with multispectral IKONOS imagery, *Int. J. of Rem. Sens.* 2005. Vol. 26:5. P. 1057–1063. DOI: 10.1080/01430060512331314119.
- Gallant A. L. The Challenges of Remote Monitoring of Wetlands, *Rem. Sens.* 2015. Vol. 7(8). P. 10938–10950. DOI: 10.3390/rs70810938.
- Gavier-Pizarro G. I., Kuemmerle T., Hoyo L. E., Stewart S. I., Huebner C. D., Keuler N. S., Radeloff V. C. Monitoring the invasion of an exotic tree (*Ligustrum lucidum*) from 1983 to 2006 with Landsat TM/ETM+ satellite data and Support Vector Machines in Córdoba, Argentina, *Rem. Sens. of Env.* 2012. Vol. 122. P. 134–145. DOI: 10.1016/j.rse.2011.09.023.
- Gillespie T. W., Foody G. M., Rocchini D., Giorgi A. P., Saatchi S. Measuring and modelling biodiversity from 62 space, *Progress in Physical Geography*. 2008. Vol. 32(2). P. 203–221. DOI: 10.1177/0309133308093606
- Gould W. Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots, *Ecological applications*. 2000. Vol. 10. No. 6. P. 1861–1870. DOI: 10.1890/1051-0761(2000)010%5B1861:RSOVPS%5D2.0.CO%3B2.
- Hansen M. C., Townshend J. R. G., DeFries R. S., Carroll M. Estimation of tree cover using MODIS data at global, continental and regional/local scales, *Int. J. of Rem. Sens.* 2005. Vol. 26. No. 19. P. 4359–4380. DOI:10.1080/01431160500113435.
- Hojas-Gascón L., Belward A., Eva H., Ceccherini G., Hagolle O., Garcia J., Cerutti P. Potential improvement for forest cover and forest degradation mapping with the forthcoming Sentinel-2 program, *Int. Archives of the Photogram., Rem. Sens. & Spatial Inf. Sciences*. 2015. P. 417–423.
- Homolova L., Malenovský Z., Clevers J. G., Garcia-Santos G., Schaepman M. E. Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping, *Ecological Complexity*. 2013. Vol. 15. P. 1–16. DOI: 10.1016/j.ecocom.2013.06.003.
- Hou X., Gao S., Niu Z., Xu Z. Extracting grassland vegetation phenology in North China based on cumulative SPOT-VEGETATION NDVI data, *Int. J. of Rem. Sens.* 2014. Vol. 35:9. P. 3316–3330. DOI: 10.1080/01431161.2014.903437.
- Huang C., Asner G. P. Applications of Remote Sensing to Alien Invasive Plant Studies – Review, *Sensors*. 2009. Vol. 9(6). P. 4869–4889. DOI:10.3390/s90604869.
- Isaacson B. N., Serbin S. P., Townsend P. A. Detection of relative differences in phenology of forest species using Landsat and MODIS, *Landscape ecology*. 2012. Vol. 27. No. 4. P. 529–543. DOI: 10.1007/s10980-012-9703-x.

- Johnston S. E., Henry M. C., Gorchov D. L. Using Advanced Land Imager (ALI) and Landsat Thematic Mapper (TM) for the Detection of the Invasive Shrub *Lonicera maackii* in Southwestern Ohio Forests, *GIScience & Rem. Sens.* 2012. Vol. 49:3. P. 450–462. DOI: 10.2747/1548-1603.49.3.450.
- Joshi C., De Leeuw J., Skidmore A. K., Van Duren I. C., Van Oosten H. Remotely sensed estimation of forest canopy density: A comparison of the performance of four methods, *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2006. Vol. 8(2). P. 84–95. DOI: 10.1016/j.jag.2005.08.004.
- Karlson M., Ostwald M., Reese H., Sanou J., Tankoano B., Mattsson E. Mapping Tree Canopy Cover and Aboveground Biomass in Sudano-Sahelian Woodlands Using Landsat 8 and Random Forest, *Rem. Sens.* 2015. Vol. 7(8). P. 10017–10041. DOI: 10.3390/rs70810017.
- Klemas V. Remote sensing of wetlands: case studies comparing practical techniques, *Journal of Coastal Research.* 2011. Vol. 27. No. 3. P. 418–427. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-10-00174.1.
- Krankina O. N., Pflugmacher D., Friedl M., Cohen W. B., Nelson P., Baccini A. Meeting the challenge of mapping peatlands with remotely sensed data, *Biogeosciences.* 2008. Vol. 5(6). P. 1809–1820. DOI: 10.5194/bg-5-1809-2008.
- Kuenzer C., Ottinger M., Wegmann M., Guo H., Wang C., Zhang J., Dech S., Wikelski M. Earth observation satellite sensors for biodiversity monitoring: potentials and bottlenecks, *Int. J. of Rem. Sens.* 2014. Vol. 35:18. P. 6599–6647. DOI: 10.1080/01431161.2014.964349.
- Laba M., Downs R., Smith S., Welsh S., Neider C., White S., Richmond M., Philpot W., Baveye, P. Mapping invasive wetland plants in the Hudson River National Estuarine Research Reserve using Quickbird satellite imagery, *Rem. Sens. of Env.* 2008. Vol. 112(1). P. 286–300. DOI: 10.1016/j.rse.2007.05.003.
- Laurin G. V., Frate F. D., Pasolli L., Notarnicola C., Guerriero L., Valentini R. Discrimination of vegetation types in alpine sites with ALOS PALSAR-, RADARSAT-2-, and lidar-derived information, *Int. J. of Rem. Sens.* 2013. Vol. 34:19. P. 6898–6913. DOI: 10.1080/01431161.2013.810823
- Lehnert L. W., Meyer H., Wang Y., Miehe G., Thies B., Reudenbach C., Bendix, J. Retrieval of grassland plant coverage on the Tibetan Plateau based on a multi-scale, multi-sensor and multi-method approach, *Rem. Sens. of Env.* 2015. Vol. 164. P. 197–207. DOI: 10.1016/j.rse.2015.04.020.
- Leitão P. J., Schwieder M., Suess S., Catry I., Milton E. J., Moreira F., Osborne P. E., Pinto M.J., van der Linden S., Hostert P. Mapping beta diversity from space: Sparse generalised dissimilarity modelling (SGDM) for analysing high-dimensional data, *Methods Ecol. Evol.* 2015. Vol. 6. P. 764–771. DOI: 10.1111/2041-210X.12378.
- Levin N., Shmida A., Levanoni O., Tamari H., Kark S. Predicting mountain plant richness and rarity from space using satellite-derived vegetation indices, *Diversity and Distributions.* 2007. Vol. 13(6). P. 692–703. DOI: 10.1111/j.1472-4642.2007.00372.x.
- Liu W., Song C., Schroeder T. A., Cohen W. B. Predicting forest successional stages using multitemporal Landsat imagery with forest inventory and analysis data, *Int. J. of Rem. Sens.* 2008. Vol. 29:13. P. 3855–3872. DOI: 10.1080/01431160701840166.
- Margono B. A., Bwangoy J. R. B., Potapov P. V., Hansen M. C. Mapping wetlands in Indonesia using Landsat and PALSAR data-sets and derived topographical indices, *Geo-spatial Information Science.* 2014. Vol. 17:1. P. 60–71. DOI: 10.1080/10095020.2014.898560.
- McRoberts R. E., Cohen W. B., Næsset E., Stehman S. V., Tomppo E.O. Using remotely sensed data to construct and assess forest attribute maps and related spatial products, *Scandinavian Journal of Forest Research.* 2010. Vol. 25:4. P. 340–367. DOI: 10.1080/02827581.2010.497496.
- Möckel T. Hyperspectral and multispectral remote sensing for mapping grassland vegetation: PhD diss. Lund University, 2015. 41 p.
- Mozumder C., Tripathi N. K., Tipdecho T. Ecosystem evaluation (1989–2012) of Ramsar wetland Deepor Beel using satellite-derived indices, *Environmental monitoring and assessment.* 2014. Vol. 186. No. 11. P. 7909–7927. DOI: 10.1007/s10661-014-3976-2.
- Mui A., He Y., Weng Q. An object-based approach to delineate wetlands across landscapes of varied disturbance with high spatial resolution satellite imagery, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Rem. Sens.* 2015. Vol. 109. P. 30–46. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2015.08.005.
- Murray H., Lucieer A., Williams R. Texture-based classification of sub-Antarctic vegetation communities on Heard Island, *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2010. Vol. 12. No. 3. P. 138–149. DOI: 10.1016/j.jag.2010.01.006.
- Nagendra H., Lucas R., Honrado J. P., Jongman R. H., Tarantino C., Adamo M., Mairota P. Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats, *Ecological Indicators.* 2013. Vol. 33. P. 45–59. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.09.014.
- Nilsen L., Arnesen G., Joly D., Malnes E. Spatial modelling of Arctic plant diversity, *Biodiversity.* 2013. Vol. 14:1. P. 67–78. DOI: 10.1080/14888386.2012.717008.

- Odindi J., Adam E., Ngubane Z., Mutanga O., Slotow R. Comparison between WorldView-2 and SPOT-5 images in mapping the bracken fern using the random forest algorithm, *Journal of Applied Rem. Sens.* 2014. Vol. 8(1). P. 083527-1 – 083527-16. DOI: 10.1117/1.JRS.8.083527.
- Onojeghuo A. O., Blackburn G. A. Mapping reedbed habitats using texture-based classification of Quick-Bird imagery, *Int. J. of Rem. Sens.* 2011. Vol. 32. No. 23. P. 8121–8138. DOI: 10.1080/01431161.2010.532822.
- Ozesmi S. L., Bauer M. E. Satellite remote sensing of wetlands, *Wetlands ecology and management.* 2002. Vol. 10. No. 5. P. 381–402. DOI: 10.1023/A:1020908432489.
- Parviainen M., Luoto M., Heikkinen R. K. The role of local and landscape level measures of greenness in modelling boreal plant species richness, *Ecological Modelling.* 2009. Vol. 220. No. 20. P. 2690–2701. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2009.07.017.
- Parviainen M., Zimmermann N. E., Heikkinen R. K., Luoto M. Using unclassified continuous remote sensing data to improve distribution models of red-listed plant species, *Biodiversity and Conservation.* 2013. Vol. 22. P. 1731–1754. DOI: 10.1007/s10531-013-0509-1.
- Peterson E. B. Estimating cover of an invasive grass (*Bromus tectorum*) using tobit regression and phenology derived from two dates of Landsat ETM+ data, *Int. J. of Rem. Sens.* 2005. Vol. 26:12. P. 2491–2507. DOI: 10.1080/01431160500127815.
- Petrou Z. I., Manakos I., Stathaki T. Remote sensing for biodiversity monitoring: a review of methods for biodiversity indicator extraction and assessment of progress towards international targets, *Biodiversity and Conservation.* 2015. Vol. 24. No. 10. P. 2333–2363. DOI: 10.1007/s10531-015-0947-z.
- Pettorelli N., Vik J. O., Mysterud A., Gaillard J. M., Tucker C. J., Stenseth N. C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change, *Trends in Ecology and Evolution.* 2005. Vol. 20. P. 503–510. DOI: 10.1016/j.tree.2005.05.011.
- Petus C., Lewis M., White D. Monitoring temporal dynamics of Great Artesian Basin wetland vegetation, Australia, using MODIS NDVI, *Ecological Indicators.* 2013. Vol. 34. P. 41–52. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.04.009.
- Pflugmacher D., Cohen W. B., Kennedy R. E. Using Landsat-derived disturbance history (1972–2010) to predict current forest structure, *Rem. Sens. of Env.* 2012. Vol. 122. P. 146–165. DOI: 10.1016/j.rse.2011.09.025.
- Polychronaki A., Spindler N., Schmidt A., Stoinschek B., Zebisch M., Renner K., Sonnenschein R., Notarnicola C. Integrating RapidEye and ancillary data to map alpine habitats in South Tyrol, Italy *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2015. Vol. 37. P. 65–71. DOI: 10.1016/j.jag.2014.11.008.
- Potapov P., Turubanova S., Hansen M. C. Regional-scale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European Russia, *Rem. Sens. of Env.* 2011. Vol. 115. No. 2. P. 548–561.
- Potapov P. V., Turubanova S. A., Tyukavina A., Krylov A. M., McCarty J. L., Radeloff V. C., Hansen M. C. Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive, *Rem. Sens. of Env.* 2015. Vol. 159. P. 28–43. DOI: 10.1016/j.rse.2014.11.027.
- Pouteau R., Meyer J. Y., Taputuarai R., Stoll B. Support vector machines to map rare and endangered native plants in Pacific islands forests, *Ecological Informatics.* 2012. Vol. 9. P. 37–46. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2012.03.003.
- Price K. P., Guo X., Stiles J. M. Optimal Landsat TM band combinations and vegetation indices for discrimination of six grassland types in eastern Kansas, *Int. J. of Rem. Sens.* 2002. Vol. 23:23. P. 5031–5042. DOI: 10.1080/01431160210121764.
- Rapinel S., Clément B., Magnanon S., Sellin V., Hubert-Moy L. Identification and mapping of natural vegetation on a coastal site using a Worldview-2 satellite image, *Journal of environmental management.* 2014. Vol. 144. P. 236–246. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.05.027.
- Rapinel S., Bouzillé J. B., Oszwald J., Bonis A. Use of bi-Seasonal Landsat-8 Imagery for Mapping Marshland Plant Community Combinations at the Regional Scale, *Wetlands.* 2015. Vol. 35. Issue 6. P. 1043–1054. DOI: 10.1007/s13157-015-0693-8.
- Red Data Book of Plant Communities in the former USSR. Birmingham, 1997. 69 p. Reese H., Nyström M., Nordkvist K., Olsson H. Combining airborne laser scanning data and optical satellite data for classification of alpine vegetation, *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2014. Vol. 27. P. 81–90. DOI: 10.1016/j.jag.2013.05.003.
- Resasco J., Hale A. N., Henry M. C., Gorchoff D. L. Detecting an invasive shrub in a deciduous forest understory using late-fall Landsat sensor imagery, *Int. J. Remote Sens.* 2007. Vol. 29. P. 3739–3745. DOI: 10.1080/01431160701373721.
- Richards J. A., Jia X. Remote sensing digital image analysis. An introduction. Berlin, 2006. 439 p.
- Rocchini D. Effects of spatial and spectral resolution in estimating ecosystem α -diversity by satellite imagery, *Rem. Sens. of Environ.* 2007. Vol. 111. P. 423–434. DOI: 10.1016/j.rse.2007.03.018.

- Rocchini D., Balkenhol N., Carter G. A., Foody G. M., Gillespie T. W., He K. S., Kark S., Levin N., Lucas K., Luoto M., Nagendra H., Oldeland J., Ricotta C., Southworth J., Neteler M. Remotely sensed spectral heterogeneity as a proxy of species diversity: recent advances and open challenges, *Ecol. Inform.* 2010. Vol. 5. P. 318–329. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2010.06.001.
- Rocchini D., Andreo V., Förster M., Garzon-Lopez C. X., Gutierrez A. P., Gillespie T. H., Hauffe H. C., He K. S., Kleinschmit B., Mairota P., Marcantonio M., Metz M., Nagendra N., Pareeth S., Ponti L., Ricotta C., Rizzoli A., Schaab G., Zebisch M., Zorer R., Neteler M. Potential of remote sensing to predict species invasions. A modelling perspective, *Prog. Phys. Geogr.* 2015a. Vol. 39. P. 283–309.
- Rocchini D., Hernández-Stefanoni J. L., He K. S. Advancing species diversity estimate by remotely sensed proxies: a conceptual review, *Ecol. Inform.* 2015b. Vol. 25. P. 22–28. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2014.10.006.
- Rodriguez-Galiano V. F., Chica-Rivas M. Evaluation of different machine learning methods for land cover mapping of a Mediterranean area using multi-seasonal Landsat images and Digital Terrain Models, *Int. J. of Digital Earth.* 2014. Vol. 7. No. 6. P. 492–509. DOI: 10.1080/17538947.2012.748848.
- Schaffrath D., Barthold F. K., Bernhofer C. Spatiotemporal variability of grassland vegetation cover in a catchment in Inner Mongolia, China, derived from MODIS data products, *Plant and soil.* 2011. Vol. 340. No.1–2. P. 181–198. DOI: 10.1007/s11104-010-0465-4.
- Schmidt M., König K., Müller J. V. Modelling species richness and life form composition in Sahelian Burkina Faso with remote sensing data, *Journal of Arid Environments.* 2008. Vol. 72. P. 1506–1517. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2008.02.015.
- Schuster C., Schmidt T., Conrad C., Kleinschmit B., Förster, M. Grassland habitat mapping by intra-annual time series analysis—Comparison of RapidEye and TerraSAR-X satellite data, *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2015. Vol. 34. P. 25–34. DOI: 10.1016/j.jag.2014.06.004.
- Sexton J. O., Song X. P., Feng M., Noojipady P., Anand A., Huang C., Kim D. H., Collins K. M., Channan S., DiMiceli C., Townshend J. R. Global, 30-m resolution continuous fields of tree cover: Landsat-based rescaling of MODIS vegetation continuous fields with lidar-based estimates of error, *Int. J. of Digital Earth.* 2013. Vol. 6:5. P. 427–448. DOI: 10.1080/17538947.2013.786146.
- Shmitt U., Ruppert G. S. Forest classification of multitemporal mosaicked satellite images, *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing.* 1996. Vol. XXXI. Part B7. P. 602–605.
- Short N. M. The LANDSAT Tutorial Workbook: Basics of Satellite Remote Sensing. NASA Reference Publication 1078. NASA. 2011. URL: http://pdf20.termsbooks.org/pdf/the-landsat-tutorial-workbook-basics-of-satellite-remote-sensing-nasa-re_d7mnmv.pdf (data obrascheniya: 05.12.2015)
- Shouse M., Liang L., Fei S. Identification of understory invasive exotic plants with remote sensing in urban forests, *Int. J. of Appl. Earth Observ. and Geoinf.* 2013. Vol. 21. P. 525–534. DOI: 10.1016/j.jag.2012.07.010.
- Silva T. S., Costa M. P., Melack J. M., Novo E. M. Remote sensing of aquatic vegetation: theory and applications, *Env. Monit. and Assessment.* 2008. Vol. 140(1–3). P. 131–145. DOI: 10.1007/s10661-007-9855-3.
- Somodi I., Čarni A., Ribeiro D., Podobnikar T. Recognition of the invasive species *Robinia pseudacacia* from combined remote sensing and GIS sources, *Biological conservation.* 2012. Vol. 150(1). P. 59–67. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.02.014.
- Stehman S. V., Czaplewski R. L. Design and analysis for thematic map accuracy assessment: fundamental principles, *Rem. Sens. of Env.* 1998. Vol. 64. P. 331–344. DOI: 10.1016/S0034-4257(98)00010-8.
- Stow D. A., Hope A., McGuire D., Verbyla D., Gamon J., Huemmrich F., Houston S., Racine C., Sturm M., Tape K., Hinzman L., Yoshikawa K., Tweedie C., Noyle B., Silapaswan C., Douglas D., Griffith B., Jia G., Epstein H., Walker D., Daeschner S., Petersen A., Zhou L., Myneni R. Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra Ecosystems, *Rem. Sens. of Env.* 2004. Vol. 89(3). P. 281–308. DOI: 10.1016/j.rse.2003.10.018.
- Townsend P. A., Walsh S. J. Remote sensing of forested wetlands: application of multitemporal and multispectral satellite imagery to determine plant community composition and structure in southeastern USA, *Plant Ecology.* 2001. Vol. 157. No. 2. P. 129–149. DOI: 10.1023/A:1013999513172.
- Tuanmu M. N., Viña A., Bearer S., Xu W., Ouyang Z., Zhang H., Liu, J. Mapping understory vegetation using phenological characteristics derived from remotely sensed data, *Rem. Sens. of Env.* 2010. Vol. 114(8). P. 1833–1844. DOI: 10.1016/j.rse.2010.03.008.
- Tucker C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Rem. Sens. of Env.* 1979. Vol. 8. P. 127–150. DOI: 10.1016/0034-4257(79)90013-0.
- Turner W., Spector S., Gardiner N., Fladerland M., Sterling E., Steininger M. Remote sensing for biodiversity science and conservation, *Trends Ecol. Evol.* 2003. Vol. 18. P. 306–314. DOI: 10.1016/S0169-5347(03)00070-3.
- Turner W., Rondinini C., Pettorelli N., Mora B., Leidner A. K., Szantoi Z., Buchanan G., Dech S., Dwyer J., Herold M., Koh L. P., Leimgruber P., Taubenboeck H., Wegmann M., Wikelski M., Woodcock, C.

- Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation, *Biological Conservation*. 2015. Vol. 182. P. 173–176. DOI: 10.1016/j.biocon.2014.11.048.
- Vanselow K. A., Samimi C. Predictive mapping of dwarf shrub vegetation in an arid high mountain ecosystem using remote sensing and random forests, *Rem. Sens.* 2014. Vol. 6(7). P. 6709–6726. DOI: 10.3390/rs6076709.
- Viedma O., Torres I., Pérez B., Moreno J. M. Modeling plant species richness using reflectance and texture data derived from QuickBird in a recently burned area of Central Spain, *Rem. Sens. of Env.* 2012. Vol. 119. P. 208–221. DOI: 10.1016/j.rse.2011.12.024.
- Wang C., Guo H., Zhang L., Qiu Y., Sun Z., Liao J., Liu G., Zhang Y. Improved alpine grassland mapping in the Tibetan Plateau with MODIS time series: a phenology perspective, *Int. J. of Digital Earth*. 2015. Vol. 8. No.2. P. 133–152. DOI: 10.1080/17538947.2013.860198.
- Wang Z. J., Jiao J. Y., Lei B., Su Y. An approach for detecting five typical vegetation types on the Chinese Loess Plateau using Landsat TM data, *Environmental monitoring and assessment*. 2015. Vol. 187(9). P. 1–16. DOI: 10.1007/s10661-015-4799-5.
- Whiteside T. G., Bartolo R. E. Mapping Aquatic Vegetation in a Tropical Wetland Using High Spatial Resolution Multispectral Satellite Imagery, *Remote Sens.* 2015. Vol. 7(9). P. 11664–11694. DOI: 10.3390/rs70911664.
- Wilfong B. N., Gorchov D. L., Henry M. C. Detecting an invasive shrub in deciduous forest understories using remote sensing, *Weed Science*. 2009. Vol. 57. No. 5. P. 512–520. DOI: 10.1614/WS-09-012.1.
- Wright C., Gallant A. Improved wetland remote sensing in Yellowstone National Park using classification trees to combine TM imagery and ancillary environmental data, *Rem. Sens. of Env.* 2007. Vol. 107. No. 4. P. 582–605. DOI: 10.1016/j.rse.2006.10.019.
- Xie Y., Sha Z., Yu M. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review, *Journal of plant ecology*. 2008. Vol. 1. No. 1. P. 9–23. DOI: 10.1093/jpe/rtm005.
- Xie Y., Zhang A., Welsh W. Mapping Wetlands and Phragmites Using Publically Available Remotely Sensed Images, *Photogram. Engineering & Rem. Sens.* 2015. Vol. 81. No. 1. P. 69–78. DOI: <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.81.1.69>.
- Xu M., Watanachaturaporn P., Varshney P. K., Arora M. K. Decision tree regression for soft classification of remote sensing data, *Rem. Sens. of Env.* 2005. Vol. 97(3). P. 322–336. DOI: 10.1016/j.rse.2005.05.008.
- Zhang Y., Lu D., Yang B., Sun C., Sun M. Coastal wetland vegetation classification with a Landsat Thematic Mapper image, *Int. J. of Rem. Sens.* 2011. Vol. 32:2. P. 545–561. DOI: 10.1080/01431160903475241



УДК 595.384.2(268.45)

Приловы камчатского краба при промысле донных рыб на юго-востоке Баренцева моря

СТЕСЬКО

Алексей Владимирович

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО), astel777@yandex.ru

Ключевые слова:

камчатский краб
донные рыбы
Баренцево море
траловый промысел
уловы

Аннотация: В работе приведены данные о приловах камчатского краба при промысле донных рыб на юго-востоке Баренцева моря, в том числе, в закрытом для тралового лова районе и у его границ. Проанализировано влияние промысла донных рыб на распределение камчатского краба. Показано, что интенсивный рыбный промысел способствует увеличению плотности скоплений крабов, вероятно, привлекаемых в эти районы отходами судовой рыбообработки.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: С. В. Баканев

Рецензент: Н. А. Стрелкова

Получена: 26 июня 2015 года

Подписана к печати: 05 апреля 2016 года

Введение

Камчатский краб, преднамеренная интродукция которого была успешно проведена в 60-х годах прошлого века, в настоящее время является ценным промысловым биоресурсом Баренцева моря. На сегодняшний день его добыча ведется на юго-востоке моря промысловыми судами при помощи ловушек

различных конструкций. Промысел камчатского краба в Баренцевом море был открыт в 2004 г., и практически одновременно с этим – в 2006 г. – на обширной акватории площадью 22 тыс. кв. км было введено круглогодичное ограничение тралового рыбного промысла. В основном данная мера была предпринята для предотвращения аварийных ситуаций, связанных с попаданием ловушечных порядков в тралы, что влечет за собой порчу дорогостоящих орудий лова. Вместе с тем на южных и восточных границах закрытого для тралового промысла района ведется активный промысел донных рыб, особенно камбаловых (Rudnev, Ajjad, 2012; Стесько, 2014). Траулеры вынуждены работать, не входя в закрытый район, но при этом

стараясь получить наибольшую эффективность лова.

Исследования ПИНРО по питанию камчатского краба в Баренцевом море показали, что по мере истощения кормового бентоса краб может переходить на альтернативные источники питания, которыми в южной части Баренцева моря являются отходы рыбного промысла – выбросы некондиционной рыбы и отходы судовой переработки (Манушин, Анисимова, 2013). С учетом того, что в местах интенсивного промысла донных рыб в море выбрасывается значительное количество рыбных отходов, можно предположить, что там могут наблюдаться плотные скопления крабов, которых привлекает дополнительный источник питания.

В ноябре 2012 г. на обширной акватории юго-восточной части Баренцева моря, включающей закрытый для тралового промысла район, были проведены комплексные траловые исследования на судне М-0207 «Пярлас». В этот же период на промысловом судне М-0185 «Нерей» были выполнены наблюдения за приловом камчатского краба при тралениях у южной границы закрытого района. В результате были

получены сравнительные данные об уловах донных рыб и камчатского краба в пределах закрытого для тралового промысла района и у его границ – в зоне активного рыболовства.

Полученные в результате проведения этих исследований материалы позволили сравнить уловы камчатского краба на участке, запретном для тралового лова, и за его границами и попытаться оценить влияние рыбного промысла на распределение камчатского краба.

Материалы

Анализ распределения уловов донных рыб и камчатского краба был выполнен по материалам морских ресурсных исследований донных рыб на юго-востоке Баренцева моря, проведенных ФГБНУ «ПИНРО» на М-0207 «Пярлас» (трал чертежа 2615) и промысловом судне М-0185 «Нерей» (трал Sampelen) в ноябре 2012 г. В целях унификации результатов работы тралов различных конструкций вылов гидробионтов пересчитан на единицу площади – квадратную милю.

Методы

Полевую обработку рыб и беспозвоночных проводили по стандартным методикам, принятым в рыбохозяйственных исследованиях (Инструкции, 2004). Определяли

зоологическую длину рыб, пол, стадию зрелости гонад, содержимое и степень наполнения желудка (в баллах от 0 до 4). У крабов измеряли ширину карапакса (ШК), определяли пол, межлиночные категории у самцов и стадии зрелости икры у самок.

Визуализация полученного материала проведена в ГИС MapViewer 8.0.

Результаты

Осенью 2012 г. при выполнении учетных тралений на М-0207 «Пярлас» общий улов колебался в пределах 3.2–61.4 т/кв. милю. На севере исследованной акватории в уловах преобладали треска и пикша, при продвижении на юг увеличивалась доля морской камбалы, которая могла составлять до 80 %. Наиболее высокие уловы камчатского краба (до 10 т/кв. милю, или 5600 экз./кв. милю) были отмечены в центральной части исследованного района и на юге закрытого для тралового лова района. При этом доля краба в общем вылове не превышала 50 % (рис. 1). На севере и западе исследованной акватории в уловах камчатского краба доминировали промысловые самцы. При смещении на юг в приловах краба увеличивалась доля самок и непромысловых самцов. Наиболее значительные уловы таких особей были получены на юге за пределами закрытого района.

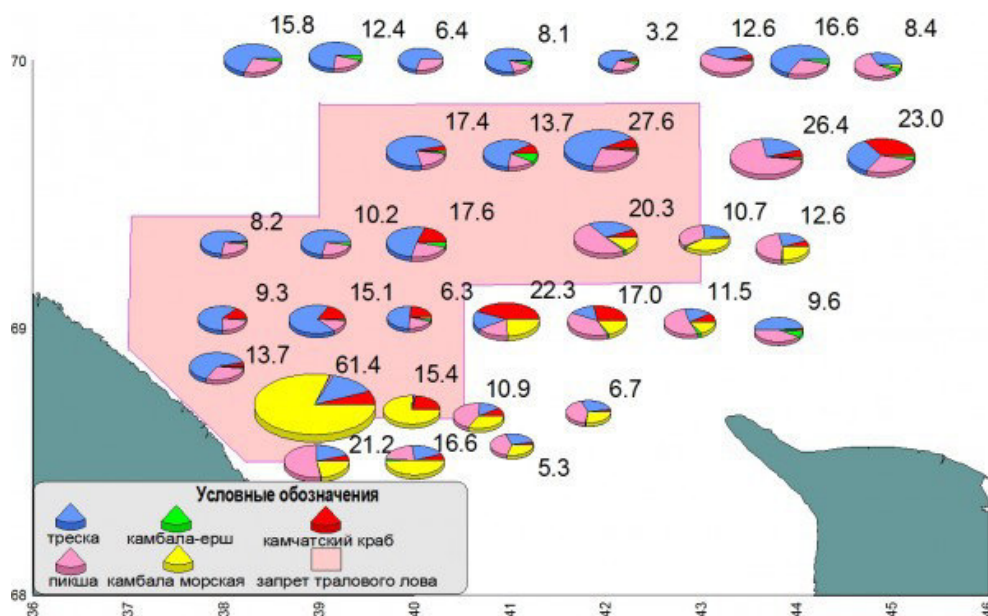


Рис. 1. Уловы донных рыб и камчатского краба на М-0207 «Пярлас» в Баренцевом море в ноябре 2012 г., т/кв. милю

Fig. 1. Catch of demersal fish and red king crab by M-0207 «Perlas» in the Barents Sea in November, 2012, t/sq. mil

Уловы камчатского краба на промысловом судне М-0185 «Нерей» в ноябре 2012 г. колебались в пределах 34–4000 экз./кв. милю. Судно работало у южных и юго-восточных границ закрытого района. Наи-

большие уловы краба отмечались на глубинах 80–100 м. Максимальные уловы краба на обоих судах были получены на одинаковых участках вблизи юго-восточной и восточной границы закрытого района (рис. 2).

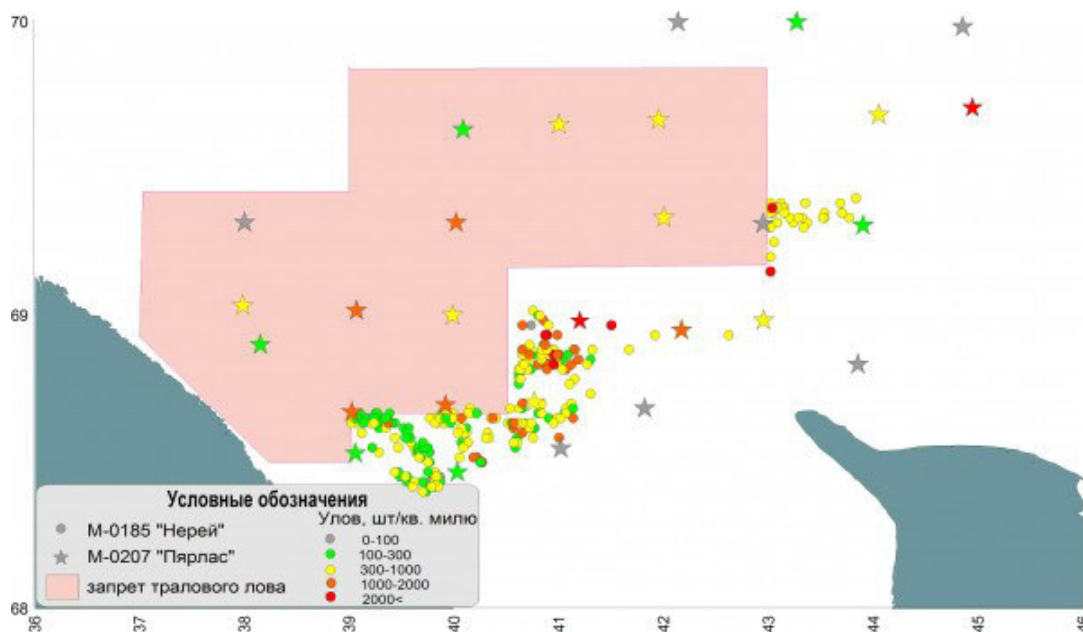


Рис. 2. Уловы камчатского краба на М-0207 «Пярлас» и М-0185 «Нерей» в Баренцевом море в ноябре 2012 г., экз./кв. милю
Fig. 2. Red king crab's bycatch on M-0207 «Perlas» and M-0185 «Nerey» in the Barents Sea in November, 2012, pcs/sq. mil

Обсуждение

Данные, полученные в 2012 г., показали, что основные скопления камчатского краба распределялись на юге закрытого для тралового лова района и к востоку от него. Наибольшие приловы краба в период работ на М-0207 «Пярлас» были отмечены на тех же участках, где работало промысловое судно М-0185 «Нерей», осуществлявшее лов донных рыб, преимущественно морской камбалы. В то же время в центральной части закрытого района также отмечались приловы краба, соотносимые с приловами на приграничных участках (2–4 тыс. экз./кв. милю). В последние годы в ноябре заканчивается период ловушечного промысла камчатского краба, который сосредоточен преимущественно на северных и северо-восточных участках закрытого района. На юге в уловах повышается доля самок и молоди, запрещенных к вылову. По нашему мнению, это обстоятельство объясняет сниженные траловые приловы камчатского краба на северо-восточных участках закрытого района в сравнении с южны-

ми (см. рис. 2). В то же время за пределами этого района наблюдались уловы краба свыше 2000 экз./кв. милю.

Увеличение уловов краба вдоль границы запретного района может быть обусловлено его распространением на восток в Баренцевом море. В частности, это отражено в работах М. А. Пинчукова (2011). В качестве ведущих факторов распространения краба в восточном направлении современные авторы рассматривают изменение температуры (Карсаков, Пинчуков, 2009) и потребность животных в пище ввиду истощения естественных кормовых ресурсов (Манушин, Анисимова, 2013). По части последнего авторы указывают, что по мере истощения трофической емкости ограниченного района обитания краб может искать участки с предпочитаемыми объектами питания либо переходить на альтернативные, в т. ч. отходы промысла. В этом случае концентрация крабов на границе запретного района может носить либо случайный характер, либо быть обусловлена нехваткой предпочитаемых объектов пищи – живого кормового бентоса.

Существует альтернативная точка зрения, согласно которой баренцевоморский камчатский краб характеризуется высокой пищевой пластичностью, и рыба является для него предпочитаемым объектом питания (Пинчуков, Павлов, 2002). С этой позиции увеличение уловов краба на границе запретного района связано не с нехваткой объектов питания на участках, где траловый лов не ведется, а с доступностью и обилием пищи.

Вышеизложенное позволяет предполагать, что в период активного промысла донных рыб скопления камчатского краба могут смещаться в сторону границ закрытого к траловому лову района. Данное обстоятельство может быть обусловлено как нехваткой кормового бентоса, так и доступностью такого вида пищи, как отходы промысла. В связи с этим целесообразно устанавливать запрет для тралового лова исключительно на период промысла краба, когда при одновременной работе активными и пассивными орудиями лова могут

возникать определенные неудобства. В остальное время на акватории закрытого района промысел донных рыб может способствовать уменьшению трофической нагрузки на бентос.

Заключение

Уловы камчатского краба при траловом промысле в ноябре 2012 г. достигали 10 т/кв. милю, или 5600 экз./кв. милю. Наиболее высокие приловы камчатского краба в ноябре 2012 г. отмечались за пределами границ закрытого для тралового лова района, на участках активного промысла донных рыб.

Траловый промысел донных рыб на границе закрытого района способствует увеличению на нем плотности скоплений камчатского краба. Данное обстоятельство может быть учтено при регулировании сроков установления запрета на траловый лов на юго-востоке Баренцева моря.

Библиография

- Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях Европейского севера и Северной Атлантики . – 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во ВНИРО, 2004. 300 с.
- Карсаков А. Л., Пинчуков М. А. Расселение и условия обитания камчатского краба в российских водах Баренцева моря // Вопросы промысловой океанологии. 2009. Вып. 6. № 1. С. 150–163.
- Манушин И. Е., Анисимова Н. А. Питание камчатского краба в Баренцевом море как отражение процесса его акклиматизации // Материалы XV Научного семинара «Чтения памяти К. М. Дерюгина» (СПбГУ, 7.12.2012 г.) / СПбГУ, Каф. ихтиологии и гидробиологии. СПб., 2013. С. 28–50.
- Пинчуков М. А., Павлов В. А. Состав пищи и его пространственная изменчивость у камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*, Tilesius) в Баренцевом море // Всероссийская конференция по промысловым беспозвоночным, VI: Тез. докл. (Калининград (пос. Лесное), 3–6 сент. 2002 г.). М.: Изд-во ВНИРО, 2002. С. 59–61.
- Пинчуков М. А. Особенности расселения и динамика запаса камчатского краба в Баренцевом море // Рыб. хоз. 2011. Юбилейный спецвып. С. 65–67.
- Стесько А. В. Распространение и некоторые биологические характеристики лиманды (*Limanda limanda* L., 1758) Баренцева моря // Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Биогеография. 2014. № 2. С. 108–118.
- Rudnev V. G., Ajiad A. Plaice // The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation / IMR, PINRO. Trondheim, 2012. Chap. 5.12. P. 347–354.

Red king crab's bycatch in demersal fishing in the South-Eastern part of the Barents Sea

STES Aleksej

Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO), astel777@yandex.ru

Keywords:

Red king crab
demersal fish
the Barents Sea
trawling
catch

Summary: In the paper, the data of the red king crab bycatch in demersal fishing in the South-Eastern part of the Barents Sea, including those in the areas forbidden to trawling are presented. The impact of the catch of demersal fish on the distribution of the king crab is analyzed. It was shown that intensive fishing contributes to the growth of crabs' density, possibly, they are attracted by the wastes of fish factories

References

- The study of ecosystems fishery waters, collection and processing of data on the marine biological resources, equipment and technology of their production and processing. Issue 1. Instructions and recommendation for the collection and processing of biological information in the seas of the North European and North Atlantic. – 2-e izd., ispr. i dop. M.: Izd-vo VNIRO, 2004. 300 p.
- Karsakov A. L. Pinchukov M. A. The distribution and habitat of the red king crab in the Russian part of the Barents Sea, *Voprosy promyslovoy okeanologii*. 2009. Vyp. 6. No. 1. P. 150–163.
- Manushin I. E. Anisimova N. A. Feeding of red king crab in the Barents Sea as a reflection of the process of his acclimatization, *Materialy XV Nauchnogo seminara «Chteniya pamyati K. M. Deryugina» (SPbGU, 7.12.2012 g.)*, SPbGU, Kaf. ihtiologii i gidrobiologii. SPb., 2013. P. 28–50.
- Pinchukov M. A. Pavlov V. A. The composition of the food and its spatial variability in red king crab (*Paralithodes camtschaticus*, Tilesius) in the Barents Sea, *Vserossiyskaya konferenciya po promyslovym bespozvonochnym*, VI: Tez. dokl. (Kaliningrad (pop. Lesnoe), 3–6 sent. 2002 g.). M.: Izd-vo VNIRO, 2002. P. 59–61. Pinchukov M. A. Red king crab's features of distribution and dynamics of stock in the Barents Sea, *Ryb. hoz.* 2011. Yubileynyy specvyp. P. 65–67.
- Stes'ko A. V. Spatial distribution and some specific biological characteristics of common dab (*Limanda limanda* L., 1758) in the Barents Sea, *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN. Ser. Biogeografiya*. 2014. No. 2. P. 108–118.
- Rudnev V. G., Ajiad A. Plaice, The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation, IMR, PINRO. Trondheim, 2012. Chap. 5.12. P. 347–354.

УДК 5=00(05)"3"(5)

Книга вышла декоративной, а могла бы быть и познавательной...

КОЛБИН
Василий Анфимович

ФГБУ "Государственный заповедник "Вишерский",
kgularis@mail.ru

Ключевые слова:

Приамурье
птицы
заповедник

Аннотация:

Рецензия на фотоальбом «Приамурье. Из глубин Прошлого, по течению Настоящего, к горизонту Будущего»
© Петрозаводский государственный университет

Получена: 25 марта 2016 года

Подписана к печати: 31 марта 2016 года

Материалы

Тема ошибок в научно-популярных публикациях о природе не может исчезнуть и потерять актуальность, поскольку каждый год появляются книги, которые в той или иной степени насыщены научными и ненаучными ляпами. Впрочем, давно известно, что книг без ошибок не бывает.

В 2015 г. мне в руки попала красочная, богато иллюстрированная книга, на обложке которой в числе прочих я узнал одну свою фотографию летящей скопы. Книга была издана в 2011 г., а ко мне – автору 22 напечатанных в ней фотографий – попала чисто случайно. Внимательное пролистывание этого издания повергло в серьезное изумление.

Книга издана по заказу Министерства природных ресурсов Амурской области, предваряется приветственным словом губернатора Амурской области того времени О. Н. Кожемяко, имеет хороший дизайн и прекрасную полиграфию. В альбоме 134 страницы мелованной бумаги, на которых помимо фотографий представлена разнообразная информация по истории региона, палеонтологии, ООПТ региона, а также Амурскому филиалу Ботанического сада-института ДВО РАН. Вполне добротны сделаны разделы о трех заповедниках Амурской области: Зейском, Норском и Хинганском, если не обращать внимания на некоторую скупость подписей к фотографиям

(некоторые не подписаны). А вот раздел, посвященный заказникам, поверг в шок. Особенно досталось некоторым моим фотографиям, вернее, подписям к ним... На стр. 64 помещен мой хохлатый осоед *Pernis ptilorhyncus* и снабжен подписью «Ястреб». На странице 90 фотография желны *Dryocopus martius* или черного дятла подписана просто, но со вкусом – «Дятел», ниже расположена фотография взлетающей хохлатой чернети *Aythya fuligula*, которая подписана еще проще – «Утка». Наверное, создатели книги, делая такие подписи, готовились дать ответ на возмущенные вопросы читателей в стиле: «Пусть бросит в меня камень тот, кто скажет, что это не утка/дятел!» Наверное, нужно благодарить судьбу, что под фото не красуется подпись – птица... О том, что в Амурской области теоретически может быть встречено 9 видов дятлов и порядка 25 видов уток и читатель вправе знать, кого он видит перед собой, творцы книги как-то не подумали. Однако листаем дальше – на странице 96 снова два моих фото украшены лаконичными подписями: дальневосточный кроншнеп *Numenius madagascariensis* поименован как «Кроншнеп», а клоктун *Anas formosa* обозначен уже знакомой подписью «Утка». Оба вида внесены в Красные книги России и Амурской области, и вроде бы вдвойне обязаны быть подписаны как должно, но – увы.

Пожалуй, наиболее солидно сделан небольшой – на 6 страниц – раздел ботанического сада ДВО РАН, только здесь появляются полные подписи к фото с русскими и латинскими названиями растений. Чувствуется, что ботаники сада его проверили.

В конце книги имеется список научных редакторов-консультантов, который насчитывает 18 фамилий. Когда я обнаружил в отделе экологического просвещения Норского заповедника данный альбом, один из указанных консультантов – кандидат биологических наук Н. Н. Колобаев – находился в соседней комнате. Когда я предъявил ему обнаруженную захватывающую книгу и поинтересовался о причинах возникновения таких перлов, он удивился не меньше меня, сказал, что книгу *видит впервые*, и позвонил другому «консультанту» из списка, оказалось, что и тот ничего не знает про этот «шедевр». Получается, что их записали в качестве свадебных генералов, для солидности, а для консультаций, видимо, времени не хватило. Так же и со мной могли бы проконсультроваться. Остается только поблагодарить, что я указан в качестве безликого автора фотографий, а не как научный консультант.

Как такое могло случиться? А очень просто: я постоянно сотрудничаю с Нор-

ским заповедником, и после очередной экспедиции по его территории оставляю, для научных и эколого-просветительских целей, весь отснятый материал. Когда в заповедник поступил министерский приказ о подготовке фотоальбома, отдел экологического просвещения отправил информацию о заповеднике и щедро снабдил ее имеющимися в распоряжении фотографиями. А остальное на совести создателей альбома.

Тираж альбома 2000 экземпляров, он, бесспорно, разошелся по школам региона для просвещения учителей, школьников, любителей природы...

В этой истории восхищает то, что подобные альбомы выпрыгивают как черт из табакерки, наверное, для того, чтобы читатель участвовал в конкурсе – кто больше найдет ошибок, а добротные сделанные иллюстрированные книги сплошь и рядом лежат в столах и компьютерах, поскольку нет денег на их издание.

Еще мне почему-то кажется, что в старые времена, когда в заповедниках не было отделов экопросвещения и просвещением населения занимались научные отделы, подобного не случалось, и неведомые фотографии в руки несведущих издателей не попадали

Библиография

Приамурье. Из глубин Прошлого, по течению Настоящего, к горизонту Будущего. Благовещенск: Студия «АРТикль», 2011. 134 с.

The book appeared decorative, but may be informative

KOLBIN Vasilij

Vishersky nature reserve, kgularis@mail.ru

Keywords:

Amur region
birds
reserve

Summary:

Review of the album "Amur region. From the depths of the Past, Present downstream, to the horizon of the Future "

References

Amur region. From the depths of the Past, Present downstream, to the horizon of the Future-
Blagoveschensk: Studiya «ARTikl'», 2011. 134 p.



О творчестве Андрея Хохрякова

ЛИННИК

Юрий Владимирович

Петрозаводский государственный университет,
yulinnik@yandex.ru

Получена: 11 марта 2016 года

Подписана к печати: 27 марта 2016 года

Материалы

РАСТЕНИЕ И ВРЕМЯ

Река времён!

Этот державинский образ – только метафора?

Или время впрямь *реологично* – то есть обладает свойством текучести? Тогда мы вправе наделять его параметром скорости. Кто бы взялся за создание прибора для замера таковой?

Быть может, мы сами – своеобразные спидометры времени: только пока не умеем снимать предощущаемые нами, но ускользающие от фиксации значения.

Время способно замедляться, давая нам передышку на своих *плёсах*? Или, наоборот, ему дано убыстряться, порождая опасные *коловерти*? Сама постановка проблемы ведет нас к понятию *темпа*. Причем вариативного, переменчивого!

Мыслимо ли стояние времени? Это вопрос-оксюморон – в нем завязывается антиномия. Ведь мы привыкли мыслить время процессно. Но разве не пресекается оно на пике *чудного* (А. С. Пушкин) или *прекрасного* (И.-В. Гёте) мгновения? Однако это может быть и *последний миг*, означающий несказуемое порубежье с вечностью.

Альтернативой тут будет синергетический *режим с обострением*, хорошо знакомый творческим людям: создается ощущение, что внутреннее время ускорилося до бесконечности – и ты секунды превращаешь в зоны. На этой волне создается великое. Какая сила уплотняет время, сообщая ему небывалую пружинность?

Наше вопрошание вполне правомерно в своей проекции на психологию. *Субъективное время* то мучительно медлит, то стремительно летит – вот оно топчется на месте, а вот несется вскачь.

Но как это уловить и выразить?

Верификация не дается!

Вот бок о бок сидят два человека: в одном время заледенело – в другом горит как порох. На какую шкалу спроецировать столь разительные различия? Достоверное для интуиции остается недоступным для анализа.

Сколь ни широка амплитуда этих глубоко индивидуальных интенций и переживаний, но думается, что в их разбросе – будь он подвергнут статистической обработке, которая в принципе возможна, – должна выявиться весьма определенная тенденция: большинство сойдется в том, что время убыстряет свой бег – движется с постоянно увеличивающейся скоростью.

Раньше мы успевали сделать больше за тот же период – отпуск никогда не проходил так быстро – времени опять не хватило и т. п.: стоит ли за подобными сентенциями какая-то общезначимая истина?

А. С. Пушкин взял эпиграфом к «Евгению Онегину» строчку П. А. Вяземского:

И жить торопится, и чувствовать спешит.

Быть может, героя к этому побуждает изменившийся темп событий? И он раньше косных обывателей отреагировал –

пусть бессознательно – на глубинные под-
вижки Хроноса?

А. Ф. Лосев со всей серьезностью ут-
верждал, что «с 1914 г. время как-то уп-
лотнилось и стало протекать скорее»
(Лосев, 1991, с. 84).

Теперь мы говорим про *объектив-
ное время!*

Исподволь наметилась абсолютно
новая проблема, одинаково бездонная в
своем как онтологическом, так и экзистен-
циальном преломлении, – это возможность
реального *ускорения времени*.

Классический сценарий предска-
зал: расширение Вселенной будет замед-
ляться.

Но недавно мы узнали: оно ускоря-
ется!

Как выяснилось, пять миллиардов
лет назад заявила свои права *темная энер-
гия* – она действует наперекор силам гра-
витации, грозясь окончательно перевесить
их. И распять пространство!

Это чревато *Большим Разрывом*.

Материя разойдется по швам на всех
своих ярусах: от скоплений галактик до от-
дельных атомов.

Мы помним эйнштейновскую зави-
симость между массой и временем.

Когда масса разрезается, истаивает,
то время словно сбрасывает путы – несется
вскачь. Что его ожидает на финише?

До *Большого Разрыва* еще очень да-
леко. Но не включились ли уже датчики ус-
корения? Психологи- ческое время может
быть одним из них. Другие следует искать в
органических процессах.

Э. Д. Коп открыл *закон акселерации*:
ускоряя онтогенез, эволюция движется
вперед все более широкими скачками –
крутизна таксономических ступеней не сму-
щает ее.

В своих эволюционных взглядах А. П.
Хохряков поразительно близок Э. Д. Копу. Но
работает он на ботаническом материале.

Прежде чем выявить этот замеча-
тельный унисон, отведем возможный уп-
рек.

Расширение Вселенной – эволюция
организмов – наш духовный рост: выявляя
в этих очень разных процессах момент ус-
корения, вправе ли мы искать здесь общий
знаменатель? И говорить о том, что во всех
случаях форсаж обусловлен одной и той же
причиной – изменением темпа времени?

Ньютоново время никак не реагиро-
вало на материю. Его бесконечно широкая
река текла ровно и гладко.

А. Эйнштейн облек время плотью.

Космологическое, биологическое,
психологическое время имеют соответст-
вующую каждому из них субстанцию.

Это определенная плюрализация
времени. Однако она не отменяет его
единства.

Мировое Древо растет. Скорость его
роста – отнюдь не константа. Это перемен-
ная величина.

Изучая флору, мы что-то узнаем о
космосе – вглядываясь в космос, лучше по-
нимаем флору. Экспансия роста – харак-
терный инвариант, связующий то и другое.

Сквозные аналогии пронизывают
бытие.

Ускоряются: расширение Вселенной
– органическая эволюция – мировая исто-
рия – субъективное время.

Это чисто ассоциативное сближение
разноплановых явлений?

Если даже и так, то выявление по-
добных унисонов эвристично в перспективе
философских обобщений – и к тому же са-
моценно как вариант *игры в бисер*: сумми-
руясь, четыре ускорения подхватывают наш
дух – и его растучесть возрастает по экспо-
ненте.

Пусть музыка А. Н. Скрябина сопро-
вождает этот разгон!

Растение космоподобно – космос
фитоморфен. В развитии флоры моделиру-
ется, повторяется и продолжается станов-
ление космической организованности. Это
похоже на передачу эстафеты. Достаточно
указать на *алгоритм полимеризации*, ко-
торому А. П. Хохряков придавал особое
значение. Цепная реакция связи, синтеза,
соединения, начавшаяся еще в лоне Боль-
шого Взрыва и так много нарабатывая в
недрах звезд, а потом и на планетах, как бы
подхватывается первыми растениями! Они
вносят в нее небывалую креативность –
поднимают на немислимую прежде высо-
ту.

Материя усложняется с ускорением.

Результаты впечатляют.

Симметрии космоса – и симметрии
флоры: между ними можно установить
взаимооднозначное соответствие.

Логарифмические спирали филло-
таксиса: они кажутся зеркалами, в которых
отразились галактики.

Перейдя по ассоциации к гегелевской спирали развития, скажем так: ее витки раскручиваются с нарастающим ускорением.

Вот суть основного биоморфологического закона, открытого А. П. Хохряковым: «*формы с медленно идущими сменами частей тела примитивнее, чем с более быстрыми*» (Хохряков, 1975, с. 54).

Ускоренное развитие указывает на продвинутость растения.

Чем стремительней, тем оптимальней!

Celeritas как критерий совершенства – как ароморфный признак: это ново и глубоко.

Истина – в *celeritas*!

То есть в скорости.

На исходе лета люблю потянуть из воды розетку телореза. Что такое? Примерился к одной – поднимаю целых пять. Будто на шнур они нанизаны! Глядя на дивную гирлянду, вспоминаю А. П. Хохрякова: вот наглядный пример того, как растение уплотняет время – за один сезон оно успевает сделать то, что у других видов занимает несколько лет.

А. П. Хохряков вводит фундаментальное представление о «*скорости смен*»: именно этот показатель – постоянно и неуклонно увеличивающаяся быстрота *нарастания – отмирания приростов* – лучше всего означает эволюционное положение организма (Хохряков, 1975, с. 179). Интенсивность коррелирует с прогрессивностью.

Вот библейская пальма – она долгожительница, веющая вечностью.

А это ряска. Она из самых что ни на есть малых мира сего. Куда малее? Живет одно лето. Корней не имеет, да и амбиций тоже.

Оба растения входят в класс однодольных.

Казалось бы, ряска – аутсайдер эволюции, типичная маргиналка. Оттеснена с большой дороги! Порой мы видим ее как раз в заполненной водой колее.

Тогда как пальма смотрится лидером – удачницей – фавориткой.

Но реальное соотношение – сколь это ни парадоксально для здравого смысла – является обратным.

Пальма может символизировать начало эволюции однодольных.

Тогда как ряска находится среди наиболее авангардных видов таксона. Конечно, она неказиста. Но кого мы видим в

числе ее ближайших родственников? Красавицу каллу!

Поэтому нет оснований считать, что намеченный нами эволюционный ряд – от дерева (пальма) к однолетнику (ряска) – отражает понижение, деградацию. Нельзя доверять внешнему впечатлению. В данном случае оно является обманчивым.

Ряска замечательна во многих отношениях. Конкретно:

– соматическая редукция достигает в ней максимума

– форма упрощена до крохотной зеленой пластины, которая держится на плаву;

– растеньице являет всю перспективность неотении: генеративная функция осуществляется фактически на стадии проростка; – и самое главное: ряска бьет все рекорды в разгонке времени – где еще гаметофиты формируются с такой быстротой? Вегетация у нее идет с ошеломительной интенсивностью.

Харизма растения – в его космическом назначении, миссии: улавливать излучение Солнца – удерживать бесценные кванты, предотвращая их бессмысленный распыл.

Ряска в этом отношении весьма преуспела. Усланные ею водные зеркала осуществляют фотосинтез с предельной активностью.

Симфония жизни от *adagio* через *allegro* переходит к *prestissimo*.

Для чего разгоняется эволюция?

Она сокращает и уплотняет онтогенезы! Все более тщательно и надежно экипирует проростки!

Смело и безоглядливо выпускает их в жизнь, сэкономив массу времени на подготовительной стадии!

Своего апофеоза эта четко выраженная тенденция находит в феномене *живорождения* – минуя стадию покоя, семена прорастают внутри плодов, еще не отделившихся от родительского растения. Сверх-, супер-, гиперакселерация! Деревца мангровых зарослей дают нам впечатляющий пример такого опережающего развития. Что канонические сроки? Их следует ломать ради прорыва в бессмертие.

Спешка трав! Иногда чудится, что за ней стоит прекраснейший договор растений – максимально помочь ноосфере в ее героической борьбе с энтропией. Поэтому травы торопят время – как бы подстегивают его. Сокращая календарные ритмы, расте-

ния загружают время до крайнего *lim* – пускают в дело каждый квант времени.

Биосферу можно увидеть как колоссальный *хронодром*! Если время в пределах физических измерений инертно, то здесь – на ниве жизни – оно становится страстным, порывистым. У него появляется великое качество *целесолагания* – теперь из будущего его питает и притягивает *энтелехия*.

Это своего рода понукание!

Нельзя вольтануть.

А цель ясна и величественна: убыстрить время настолько, что оно перейдет в вечность – и Танатос навсегда лишится своих нынешних полномочий.

А. П. Хохряков пишет: «*Полимеризация осей явилась причиной и интенсификации их смен*» (Хохряков, 1975, с. 28).

Н. А. Козырев говорил о разной *плотности времени*.

Фитоценоз весьма разнороден в этом отношении. Внутри него отсутствует абсолютная система отсчета времени – есть много относительных, привязанных к данному виду времен. Одни медлят – другие торопятся. Одни в арьергарде – другие в авангарде.

Темп времени помогает определить место того или иного растения на шкале прогрессивного развития.

А. П. Хохряков задает этой шкале экологический фон.

Вот основные жизненные формы, определяемые экологией: *ксерофиты* – *мезофиты* – *гигрофиты* – *гидрофиты*. А. П. Хохряков разрабатывает новое их понимание:

– нам предлагается ракурс, без претензий на его единственность и универ-

сальность, когда эти формы видятся не изолированно, а в определенной эволюционной последовательности – гидрофиты характеризуются как самая молодая группа;

– ученый выстраивает жизненные формы в ряды, которые так и тянет назвать *гомологическими* – параллелизм, прозорливо выявленный между ними, впечатляет и своей нетривиальностью, и своей глубиной.

А. П. Хохряков так пишет о сути выявленного сходства: «...*последующие члены ряда отличаются от предыдущих более интенсивно происходящими сменами в основном многолетних стеблевых частей*» (Хохряков, 1975, с. 103). В конце всех четырех направлений нам предстают однолетники – вегетативные или генеративные.

Двигаясь вдоль рядов, мы констатируем: от звена к звену как бы учащаются внутренние ритмы растений – их биологические часы спешат по сравнению с ходом времени у предшественников.

Живое ускорение!

Есть в нем свой азарт – свой захватывающий пафос.

Возникает искушение: связать биологию с космологией – увидеть на разных планах бытия проявление единого импульса.

И принять этот импульс в себя.

И пережить экстаз всеобщего ускорения, догадываясь, что жизнь хочет быть впереди смерти – постоянно обгоняет ее.

Для этого надо настойчиво наращивать скорость.

Уклониться от великой гонки нельзя.

ДЕРЕВЬЯ И ТРАВЫ

Понятно, что деревья и травы – две контрастно различные, с ходу узнаваемые, отмеченные печатью броского своеобычия *жизненные формы*. Но мнится, что это еще и очень разные *экзистенции* – резко несхожие *мирочувствования*.

Условно примем идею метемпсихоза.

И начнем философски значимую игру в перевоплощения.

Вот я рождаюсь в образе дерева – а вот принимаю облик травинки. Двум ипостасям моего «я» будет трудно понять друг

друга. Много ли инвариантов у наших систем отсчета?

Ну да, мы – выражения одной растительной сущности. Но как она многолика! Не счесть ее ипостасей. Однако вот самые знаменитые: остойчивое дерево – и зыблемая былинка.

Пробуждая в себе память дерева, я вновь переживаю тягучесть, медленность времени. По своей консистенции оно похоже сейчас на вязкий мед.

И вдруг оно встрепенулось и заспешило!

Это я отождествился с травой-эфемерой.

Могу войти и в душу секвойи, и в душу гусяного лука.

У первой время похоже на вечность – у второго тяготеет к мгновению.

Что лучше?

Вновь обратимся к А. Ф. Лосеву. Уравнивая девяностолетнего старца и трехгодовалого ребенка по критерию полноты бытия, философ пишет: «...времен столько, сколько вещей» (Лосев, 1991, с. 85).

Флора напоминает нам об этой *политемпоральности* мира.

Растения-многолетники – и растения-однолетники: кто из них является эволюционно более продвинутым?

Наша родовая склонность к антропоморфизму, отмеченная еще Ф. Бэконом, толкает к тому, чтобы отдать приоритет многолетникам.

Разве мы не стремимся к долгожительству?

Разве не испытываем пиетет перед старцами?

Эти свои человеческие предпочтения мы проецируем на природу. Нам кажется единственно возможной направленность эволюции от трав к деревьям.

Или от слабого к сильному!

Или от преходящего к постоянному!

Но здесь мы ошибаемся.

Первичны – деревья.

Эволюция имеет вектор, обратный тому, который кажется единственно возможным с позиций как нашего опыта, так и здравого смысла.

Всё с точностью до наоборот!

Блестящие исследования А. П. Хохрякова не оставили тени сомнения в истинности такой инверсии.

Внутреннюю фигуру дерева мы видим в начале двух эволюционных линий – голосеменных и покрытосеменных. Внутри покрытосеменных наличествует схожий параллелизм: с жизненной формы дерева начинают свое развитие и двудольные, и однодольные.

Красивые рефрены!

Поразительные унисоны!

При одинаковом биодизайне – существенно различное содержание: свою качественную специфику имеют и ткани, и функции, и генотипы. Но структурное решение во всех случаях отзывается как бы на один камертон!

Отсюда созвучья.

Или скажем так: в разном материале воплощается одна идея – формообразование идет на основе одного архетипа.

Дерево – кустарник – трава: вот алгоритм растительной эволюции. На планете Земля он включался несколько раз – и всегда работал без сбоя: в разных регионах – и в разные эпохи – получались, на уровне габитуса, одинаковые результаты.

Если эту последовательность дать в виде графика, то мы увидим ниспадание, снижение: растения на всех означенных нами линиях закономерно теряют в высоте.

Будто льнут к земле! Подобно Святогору, пасуют перед ее тягой.

Впрочем, это чисто внешнее, хотя в плане субъективного восприятия вполне понятное впечатление.

Вот амплитуда деревьев, отражающая их историю: от гордых гигантов – до смиренных стлаников.

И в параллель деревьям – если двигаться по траектории трав: от рослых растений – до плотно прижатых к субстрату розеток. А потом – на том же направлении – еще ниже: до ушедших под поверхность луковиц геофитов.

Целевая причина – или аттрактор, в терминах синергетики, – явно работает на уменьшение высоты.

Грандизация: поначалу доминирует эта тенденция.

Миниатюризация: это мы видим на заключительных фазах процесса.

Идущие вниз кривые, которые у нас получились, невольно ассоциируются с графическим представлением роста энтропии.

Если уменьшение – значит, убыль сил?

Если ужатие – значит, ослабление?

Тогда перед нами скорее инволюция, чем эволюция, – по сути деградация, вырождение.

Ведь измельчание мы искони связываем с чем-то негативным. Скажем, с ухудшением рода.

Опять-таки: привычные стереотипы здесь перестают работать.

И снова реальность оказывается зеркально перевернутой!

От деревьев – к травам: это прогресс, улучшение.

Сокращаются размеры – нарастает витальность.

Эволюционная подвижность – пластичность – гибкость: эти качества тоже в прибытке.

Если эксплицировать философию, содержащуюся в самом духе растения, то нет сомнения, что главной и онтологической, и ценностной категорией здесь будет *вертикаль*.

Побег растения стремится ввысь. Как бы взбегаем к зениту! Это первая избранная и утвержденная им траектория.

Впоследствии побег может начать ветвиться под разными углами к оси. Или даже перейти на горизонтальный рост.

Но вертикаль – доминанта!

Мы вправе сказать о ней так: это главная координата и для растения, и для нашего духа – тут явен наш сущностный параллелизм.

И.-В. Гёте говорил: органический рост потенциально бесконечен – меру ему кладет гравитация. Но только ли она? Тут очень и очень вероятны идущие изнутри самоограничения.

Возникает ощущение: в эволюции биоморф от дерева к траве имеет место сдвиг высоты. Однако истинное положение дел на поверку опять-таки оказывается противоположным.

Если исходить из непосредственных сравнений, то так оно и есть – кто будет возражать против очевидного? Но от наглядного перейдем к глубинному.

Полимеризацию А. П. Хохряков считал основным механизмом формообразования. Междоузлия у злаков – типичные метамеры. Как у всех трав, они сменяются очень быстро – каждую весну свою ступенчатую конструкцию злак отстраивает заново.

Рядом неторопко и основательно растет дерево. Ему где-то 70–80 лет.

Мысленно построим такую цепочку: злак к злаку – звено к звену – поколение к поколению. Пусть в нашей условной, синхронно поданной эстафете будет 70–80 поколений.

И что же мы увидим? Наша модель наверняка окажется выше дерева!

Конечно, подобную аргументацию нельзя считать абсолютно убедительной и доказательной. Но мы ее приводим для того, чтобы показать: трава вовсе не отстает от дерева в растучести, однако стратегия у нее другая.

Мы снова выходим на тему убыстрения времени. А. П. Хохряков пишет:

«Усиление процесса отмирания (смен) приводит к возникновению травянистости» (Хохряков, 1975, с. 177). Будто мы ведем ускоренную съемку! Прорастание – отмирание, сборка – демонтаж, взлет – падение. На фоне деревьев чередование этих кадров кажется молниеносным.

Это разбег жизни.

Это предельная интенсификация ее взаимодействия с космосом – надо взять от него как можно больше энергии, дабы трансформировать ее в зиждательные биотоки.

А. П. Хохряков глубоко волновал феномен *листопада*.

Это замечательное обретение эволюции.

Дерево в сравнении с травой крайне консервативно. Старый дуб – и трава-однолетник у его комля: разве не ясно, сколь различны тут системы отсчета? Но в момент листопада обнаруживается их нетривиальная, скрытая от поверхностного взгляда инвариантность. Ведь что такое крона лиственного дерева? По сути однолетник!

Дерево хочет догнать траву в быстроте смены фаз.

И это ему удается.

Первенствуют в этом соревновании *травы-эфемеры*. Короток их век. Не бывает короче! Но порой думаешь: вот где полнота бытия достигает экстремальных значений – миг оборачивается вечностью.

Тысячелетняя ель – и мимолетный гусиный лук: первая по признакам ароморфности отстает от второго.

Ретроспектива растительной эволюции являет из себя захватывающее зрелище. Сколь своеобразна раскрутка спирали! Начинается она замедленным разворачиванием – а потом неостановимо доходит до неистовых скоростей.

Передача эстафеты сопровождается обязательным увеличением темпа. Яркая, красивая, вдохновенная прогрессия!

Вернемся однако к вопросу: кто первым вышел на дистанцию?

В ботанике долгое время считалась неоспоримой так называемая *раналиевая теория*. Она утверждала первичность трав и вторичность деревьев. Е. Корнер противопоставил ей свою дурьян-теорию. В ней обосновывается ход развития от деревьев к травам.

Как видим, стрелка смысла может менять положение в научных дискуссиях на

180 градусов – по- началу это шокирует, но потом понимаешь: глубина проблемы ведет к методологической неопределенности – завязываются антиномии, доводы сталкиваются с контрдоводами. Эту острую ситуацию мы только что пронаблюдали.

А. П. Хохряков безоговорочно встал на сторону Е. Корнера. Он уточнил и развил ее. Если Е. Корнер вдохновлялся экзотичным дурьяном, завлекающим птиц своими яркими ариллусами, то такой отправной точкой для А. П. Хохрякова стала ксанторрея: с ее предками он связывал начальную ступень в эволюции лилиецветных.

Характерное дерево!

Нашему взору предстает столпообразный ствол, будто укутанный войлоком, – он возносит вверх купы листьев, похожих на *кочки*. Именно на *кочки*! Слово их оторвали от земли – и взметнули на высоту.

Сходство это отнюдь не поверхностное. Эволюционная перспектива здесь такая: купы листьев, аналогичные тем, которые мы только что видели у ксанторреи, однажды опустятся вниз. Как бы приземлятся! Это точно рассчитанные шаги эволюции. Подобный сценарий неоднократно проигрывался в разных таксонах. У ксанторреи немало очень и очень похожих на нее дублеров. Это чисто конвергентное двойничество.

Ксанторрея являет нам нечто типичное, модульное. Она без всякого эпигонства находит и реализует решение, к которому независимо друг от друга уже не раз приходили ее предшественники. Не будучи первооткрывателем, ксанторрея воплотила уже известную идею с особым блеском – адекватно и чисто. Она не только ничего не исказила в первообразе, но как бы бросила на него новый свет, усилив и подчеркнув главные черты.

Мы глядим сейчас на дерево, которое называют *пахикаульным*, – вот его типичные черты: толстый ствол – безукоризненная прямизна – отсутствие ветвления. Именно пахикаульные деревья дали толчок развитию архитектурной бионики. Прямое подражание им – колонны древних храмов.

Растительная жизнь сразу вскинулась к небу. Будто земля зафонтанировала прямыми и высокими стволами! Потом напор ослаб? Не совсем так. Но распределение энергии – управление ею – явно претерпели изменения.

Сейчас мы будем говорить о растениях обобщенно. Без видовой конкретиза-

ции. Пальма как таковая – агава как таковая: наше внимание задержится на внешних, но сущностных признаках.

Таковыми являются очертания.

Что такое контуры, абрисы?

Это прорисованные эйдосы – их силуэтное выражение.

Это то, что делает растение сразу узнаваемым, – даже если для созерцания нам доступна лишь его тень.

Пусть на нашем экране пропечатается изящный силуэт *пальмы*.

Мы видим, как ее ствол втягивается в землю – будто крона на лифте движется вниз.

И что же?

Теперь нам явлен силуэт *агавы*!

Замечательная метаморфоза, произошедшая в нашем театре теней, кажется сказочной. На вас повеяло поэзией превращений? Одновременно это и фантастика, и номогенез – эволюция на основе закономерностей. Подобный спуск кроны – ее своеобразное заземление – имел место в нескольких таксонах.

Вот как эту тему варьируют панданоцветные.

Природа если и повторяется, то всегда с привнесением новых нот – буквально копирования она не любит.

Смотрите: прашур пандануса начинает ветвиться – масса как бы откачивается из осевого ствола, что приводит к его последовательному утончению. Совсем другой контур! Дерево пока не теряет в тяжести – дабы поддержать его, изменяют свою функцию придаточные корни: они трансформируются в подпорки, похожие на ходули.

Великолепная опорная конструкция! Она работает не только на ветвистый ствол, но прежде всего на крону, которая производит ошеломительное впечатление. Назвать увиденное *фитопарадоксом*? Именно так. Ведь мы вновь лицезреем высоко вознесенную над землей кочку. Наблюдать ее в состоянии парения – право, тут есть что-то чудесное.

Кочка на пьедестале!

Такого не забудешь.

Дальнейшие шаги эволюции легко предсказать: высотная *кочка* претерпит понижение – неминуемо соприкоснется с поверхностью земли – потом окопается в почве.

Обратимся к досточтимому семейству злаков. Кто открывает длинную шерен-

гу этих стройных, всегда подтянутых растений? *Бамбуки!* Осевые побеги у них *деревянистые*. Это качество коррелирует с примитивностью данной трибы. Все та же программа действует и здесь: высота убывает – витальность прибывает.

Очевидно, в переходе от деревьев к травам ключевую роль сыграла *неотения* – своеобразное возвращение к истокам, поддержка развития. Но упрощение в его отрицательном аспекте здесь исключено: ор-

ганизм удерживает все позитивы своего опыта – отказывается лишь от изживших себя, заведомо устаревших решений. Мы вправе соотнести травинку с однолетним побегом дерева. Оно не захотело взрасти – сбросило бремя специализации.

Травы омолодили биосферу.

Вернули ее в детство!

При этом не только сохранили, но и умножили мудрость эволюции

ЭТЮДЫ НА ТЕМЫ АНДРЕЯ ХОХРЯКОВА

1. Архетип лестницы

Архетип лестницы разнообразно реализуется и в эволюции, и в морфологии растений.

Эволюция похожа на лестничный марш. Правда, спирально закрученный, с боковыми ответвлениями. Каждая ступень – яркий ароморфоз.

Лестница в организации растения проявляется многократно.

Весной так радуют взгляд зеленые лесенки хвощей! Они кажутся декорацией из волшебной сказки. В иерархии междоузлий отразился столь значимый для А. П. Хохрякова закон полимеризации.

А вот вайя папоротника. Тоже лесенка! Но уже совсем другой конструкции. Однако и за этим решением стоит закон полимеризации.

Растение норовит свою лестницу упереть прямо в зенит.

Оно готово выйти в космос.

И устремиться в бесконечность!

Этому препятствуют различные сдерживающие факторы – и не только внешние, типа силы тяжести или высоты атмосферы, но и внутренние, имманентные.

Дело в том, что начальные звенья лестницы постепенно исчезают из виду: или включаются в эмбриогенез, часто претерпевая при этом сокращение, сжатие, или отмирают вообще.

Однако утраченное компенсируется. Причем с лихвой! Делается это с помощью *надставок*.

Сейчас мы ввели крайне важное для эволюционной концепции А. П. Хохрякова понятие.

Вот что у нашего автора мы можем прочесть о саговниках: «*Семенная стадия у*

них возникла как надставка над досеменной» (Хохряков, 1975, с. 19).

Эта надставка – результат ароморфоза.

Эволюционная лестница не монотонна! Каждая ступень тут связана с обретением нового качества. Жизнь поднимается вверх круто, решительно. Мысленно мы видим не плавный пандус, а череду дискретных уровней: подъемы на них – скачки. Их и называют ароморфозами.

А. П. Хохряков пишет: «*Очевидно, нитчатая или пластинчатая протонема мхов – свидетельство их происхождения от соответствующего типа водорослей, на таллуме которых почки и производимые ими листостебельные структуры возникли так же в качестве надставки*» (Хохряков, 1975, с. 45). За этими словами рисуется ступенчатая пирамида. Быть может, это самый точный гештальт эволюции – адекватное представление ее сущности.

Вот ряд растительных структур: *одноклеточная – нитчатая – пластинчатая – листостебельная*. Перед нами не что иное, как серия ароморфных надставок! Так и хочется сказать: воля к совершенствованию выстраивает эту динамичную, целестремительную, глубоко закономерную последовательность.

Продолжим подъем.

Диплоидное оперлось на *археогониальное!* Благодаря этому была радикально усилена энергетика жизни. На каждой новой ступени мы видим такое усиление.

Приведем еще одну цитату из А. П. Хохрякова: «*С точки зрения биогенетического закона, спорофитная фаза у мхов – надставочная и представляет собой новообразование, на основе которого развились все другие высшие растения*» (Хохряков, 1975, с. 45).

А. Эйнштейн ощущал себя стоящим на плечах гигантов.

Подобная преемственность – опора нового на старое – является законом жизни в целом.

Прогрессивные былинки стоят на плечах архаичных деревьев. Надежный оплот!

Сходные надставки возникают при сходной экологии.

Лианы, стланики – оригинальные надставки.

Изумительной надставкой – как бы флагом, поднятым на пике эволюции, – является *цветок*.

Механизм *надставок* может работать в сопряжении с механизмом *неотении*. Вторая готовит базис для первой. Как бы освобождает место. Сколь результативно взаимодействие двух факторов!

Закончено ли возведение зеленой лестницы?

Толчок к надстройке очередных ступеней – порой непредсказуемых, а потому и эмерджентных – нередко дают резкие изменения экологической обстановки.

Мы не застрахованы от потрясений.

В том числе и от антропогенных катастроф.

Самоликвидация человечества вызовет мобилизацию фитосферы? Эта перспектива трагична для *Homo sapiens* – однако утешительна для жизни в целом.

Вот вопрос, переводящий нас в область фантастики, но отнюдь не абсурдный: а вдруг новой надставкой для растений будет *разум*?

2. Эстетика формы

География растений – и их морфология; внимание к экологической обстановке – и акцент на структурных моментах: если обычно эти подходы и интересы разобщены, то у А. П. Хохрякова они взаимопроникают друг друга.

Замечательный синтез рефлексирован и закрепляется в понятии *жизненной формы*. Введенное Э. Вармингом в 1884 г., оно получает у А. П. Хохрякова новую огранку – обогащается новой семантикой.

Влияние внешней среды – и автогенные факторы: опять-таки вместо традиционной антитетики мы видим у А. П. Хохрякова глубинную дополненность.

Он чтит Ж. Б. Ламарка – но испытывал пиетет и перед К. Бэрром, Э. Копом, А. Кёлликером.

Жизненная форма – это *габитус* растения.

Это то, как оно *вписано* или *врисовано* в окружающее пространство, – зона прямого информационно-энергетического взаимодействия с ним.

Это – по удачному выражению в одной из совместных с М. Т. Мазуренко работ – *экспрессия* растения: выявление наружу – через непосредственно воспринимаемый облик – его сущности.

Понятие жизненной формы эстетически значимо. Оно апеллирует к нашей чувственности. В нем есть гётевский дух.

Жизненная форма информативна. В ней отразились:

– образ *жизни растения*;

– его *филогения*.

Что-то текстовое есть в биоморфе. Ее можно читать и интерпретировать.

Ботаники различают в растении вегетативные и генеративные части.

Сома и *цветок*: это единое – и вместе с тем различное. Относительная автономия тут налицо. На определенных участках эволюции возможно независимое развитие по одному из параметров – при неизменности второго. Вот типичная ситуация: цветы трансформируются – жизненная форма остается постоянной.

Отсюда закономерный вывод, сделанный А. П. Хохряковым: видов больше, чем жизненных форм.

Вступая в противоречие с традицией, восходящей к К. Линнею, А. П. Хохряков считает, что ведущая роль в эволюции принадлежит не генеративной, а вегетативной составляющей растения. Аргументация убедительна – именно строение тела «является энергетической основой растения» (Хохряков, 1975, с. 47).

Сома контактирует с космосом.

Сома – как чудодейственный преобразователь: солнечный свет становится в ней зеленой плотью.

Сома эволюционирует прежде всего в направлении повышения КПД именно этой уникальной, креативной, воистину судьбоносной для планеты Земли функции.

Подчас в онтогенезе растения чередуются несколько жизненных форм.

Яркий пример здесь дают мхи. Нитчатая протонема – листостебельные оси – развивающиеся на них спорофиты: это три несхожих, габитуально резко различных ипостаси одной сущности.

Подобная многоликость наблюдается и у цветковых растений. Так, полыни могут предстать перед нами в разных жизненных формах: вот стержнекорневая одноосная – вот полукустарничковая – вот кустарничковая.

Жизненные формы задают разнообразие фитосферы, обеспечивая богатство эстетических впечатлений, получаемых от нее.

Представители очень и очень далеких друг от друга таксонов нередко облекаются в сходные биоморфы – имеют одну и ту же экспрессию.

Унисоны параллелизмов!

Рифмы конвергенций!

Переключка форм указывает на номогенез. Он может иметь как внешние, так и внутренние причины.

Однодольный водокрас – и двудольная кубышка: по сути одинаково они накладывают свои листья на водное зеркало. Общая экология предопределяет сходство конструктивных решений.

Однако в других случаях конвергенция обуславливается действием неизвестных нам имманентных факторов.

Два ряда растений – однодольные и двудольные: подчас кажется, что один подставляет зеркало другому – сходства разительные. А. П. Хохряков относил их исключительно за счет конвергенции. Как масштабно она проявляется в двух этих линиях!

Бросим свой взгляд на однодольную диоскорею. Она отходит от канона своего класса – осложняет новшеством классическое дуговидное жилкование. Зачем ей потребовались анастомозы? Соединяя жилки первого порядка, они делают лист сетчатым – предельно сближают его с листьями двудольных.

Какое отношение к этой красивой конвергенции имеет среда?

Надо ли здесь искать приспособительный смысл?

Думается, мы имеем дело с чистой игрой форм. Она самоценна.

Аналогичный пример: у двудольных лютиков иногда встречаются однодольные проростки. Будем здесь искать филогенетические связи? Напрасное дело! Нам явлена конвергенция как таковая.

Вот еще случай конвергенции – есть в нем своеобразная поэзия. Гортензия – и калина: краевые стерильные цветы создают у этих растений сходное обрамление.

Очень и очень разные таксоны – а декоративное решение идентичное.

Это настроенность на одну художническую идею?

И воплощение ее в различном субстрате?

Кактусы – молочаи – ластовневые: инвариантом тут является суккулентность. Типично конвергентное взаимоподобие!

Великие мастера формообразования, растения не дают отдохнуть взгляду – неизменно радуют его своей раскованной, порой рискованной, бесконечно вариативной, часто экспериментальной и авангардной, но вместе с тем всегда закономерной – даже в самых дерзких новациях – красотой.

Форма!

Кто сказал, что это нечто поверхностное?

Ну да, она ограничена поверхностью, отделяющей ее от среды. Это двумерная плоскость, разнообразно прогибающаяся, выгибающаяся, сгибающаяся – топология тут неисчерпаема. А двумерность – в смыслах своих – бездонна. На поверку – в семантических сечениях – форма *n*-мерна! Через нее себя проявляет и заявляет космическая организованность.

Космос оформлен.

Живая форма воспроизводит, моделирует, развивает мировую упорядоченность и структурность.

Вспомним астру или ромашку: симметрия излучения одинакова у цветов и звезд.

Вспомним, что Пифагор излагал свое учение о гармонии сфер, демонстрируя ученикам разрезанную луковицу.

Вспомним, что в изумительных спиралях филлотаксиса – как в необычных биологических зеркалах – отразились дальние галактики.

Формы растений предваряют стили и направления искусства.

Классицизм лилии – готика стрелы – модерн орхидеи! Аналогий – и не только поэтических, но и эвристических – тут масса.

Хочу особо отметить: при экстремальных условиях среды жизненная форма оказывается удивительно созвучной эстетике экспрессионизма. Какие напряжения! Воля к бытию находит в биоморфе адекватное, захватывающее своей подлинностью выражение.

Русская филология прославилась некогда гонимой, а ныне канонизированной «формальной школой». Назовем имена Б. М. Эйхенбаума, В. Б. Шкловского, Ю. Н. Тынянова.

Сколь ни странным покажется наше сближение, но А. П. Хохряков – на своей ботанической стезе – тяготеет к схожему типу мышления. Тут имеется некая парадигмальная, ускользающая от точных дефиниций общность.

А. П. Хохряков – несомненный *формалист*.

Отсюда глубинная *содержательность* его теоретических взглядов.

3. Вектор эволюции

О том, насколько далеки проблемы эволюции от разрешения, свидетельствует возможность альтернативных – диаметрально противоположных – гипотез и моделей.

Кто от кого происходит – однодольные от двудольных или двудольные от однодольных?

Обе концепции имеют убежденных сторонников. С двух сторон звучит интересная аргументация.

Цветок магнолии считается самым архаичным и примитивным. Отсюда концепция: это точка отсчета в развитии цветка как такового – однодольные и двудольные тут берутся вкупе.

Проводя непреложную дифференциацию, А. П. Хохряков выступал с решительной критикой этой позиции.

Сходство цветов однодольных и двудольных ученый относил исключительно на счет конвергенции. Прямой филетической связи между двумя таксонами нет. Как если бы они развивались на разных планетах!

Сравним следующие группы растений:

<i>Двудольные</i>	<i>Однодольные</i>
<i>Кувшинковые</i>	<i>Болотниковые</i>
<i>Мениспермовые</i>	<i>Диоскорейные</i>
<i>Перечные</i>	<i>Ароидные</i>

Сходство разительное! Но родство отсутствует начисто. Нельзя одну группу выводить из другой.

Вот примеры такого вывода – мы сведем вместе несколько гипотез, возводящих генезис однодольных к двудольным:

Кувшинковые – Болотниковые

Лютиковые – Болотниковые

Барбарисовые – Лилейные

Перечные – Ароидные

Предполагается, что названные здесь группы однодольных – родоначальники класса. На какой основе А. П. Хохряков отвергает все эти построения? Он использует – как абсолютный и безусловный критерий – свое ключевое теоретико-методологическое кредо: всегда и всюду – на всех направлениях растительной эволюции – исходна древесная форма.

Однако ни у болотниковых, ни у диоскорейных, ни у ароидных вообще дерево отсутствует как жизненная форма. Их никак нельзя считать первичными.

А. П. Хохряков выдвигает собственную концепцию – вот ее суть:

– *однодольные и двудольные филогенетически не связаны друг с другом;*

– *вероятно их независимое происхождение от голосеменных;*

– *на роль предков могут претендовать растения типа саговников;*

– *возможно, среди них была группа, к которой восходят и однодольные, и двудольные.*

Если монофилия все же имела место, то здесь она радикально углубляется во времени – покрытосеменные вошли в биосферу Земли по двум автономным путям. Переключки между ними – следствие номогенеза.

Родиной однодольных А. П. Хохряков считает Южное полушарие. Это была пропеченная Солнцем земля Австралии или Тасмании?

Экология делает понятной *ксероморфность* первых однодольных.

Проследим основные этапы их эволюции.

Двигаясь вслед за ксерофитами, мы охватим широкий диапазон форм: вот пахикаульные деревья – вот наземные розетки – вот окопавшиеся клубни. Создается ощущение, что Мать Гея сдерживает порыв своих созданий – и словно втягивает их в себя: будто хочет родить заново.

Такое второе рождение осуществится уже в образе *мезофитов*.

Вот чудесная придумка: широкий лист с *черешком*! Новация более чем уместная. Ведь именно мезофиты создадут высокие и тенистые леса: надо озаботиться тем, чтобы уловить как можно больше света – перегородить множеством плотин его потоки.

Сухое и влажное!

Великий эллин Анаксимандр считал это противоположение фундаментальным.

От сухого к влажному движется эволюция однодольных.

Гигрофиты!

Что-то русалочье есть в этих травах. Мой любимый белокрыльник: у него нет приспособлений для защиты от испарения – устьица открыты и днем, и ночью.

Вода притягивает, манит. *Гидрофиты* ныряют в нее бесповоротно. Порой рдесту нужно тянуться пять-шесть метров, чтобы поднять над поверхностью воды свои колоски.

Перед нами развернулась широкая экологическая амплитуда. Одновременно это и последовательность жизненных форм. Сколь замечательны происходящие метаморфозы!

Вновь поставим проблему начал и концов.

Вот еще один пример того, как могут переворачиваться векторы, якобы определяющие направленность эволюции, – это похоже на переброску знаков: был плюс – стал минус, шли на Юг – оказались на Севере.

Пророчки с *зеленой семядолей*: А. Л. Тахтаджян помещал их в начале эволюции однодольных. А. П. Хохряков – наоборот: завершает ими историю таксона. Он связывает с этим феноменом главное в целеполагании трав: максимально интенсифицировать жизненный процесс – задать онтогенезу предельную скорость. Уже на стадии

семядолей растение начинает осуществлять фотосинтез! Зачем терять время? Растение только проклюнулось – и сразу берется за выполнение своей миссии. Для этого все готово. Загодя готово!

Примитивное обернулось прогрессивным. Крутая ревизия!

Эволюция необратима.

Травы не могут превратиться в деревья.

А покрытосеменные – в голосеменные.

Тем не менее на отдельных участках эволюции возможны интересные реверсы.

Цветы актиноморфные – и цветы зигоморфные: развитие здесь иногда меняет свой вектор.

Вспомним еще два противоположения: спайнолепестные – раздельнолепестные венчики, синкарпные – апокарпные завязи. Внутри этих оппозиций тоже иногда наблюдается маятниковое движение.

Поэтика растительных метаморфоз!

Овидий – это потом. Первенствует – флора.

Вот эволюция мезофитов – ее кратчайший конспект: *ствол – стебель – луковича*. Здесь работает механизм редукции. Упрощение – снижение – сжатие: задействованы вроде как весьма прозаические алгоритмы. Но посмотрим на процесс глазами поэта, в чьей стилистике метафора – главный прием.

Феерические превращения!

Сказочные трансформации!

Нам предстали три резко несхожих структуры. Неужели одна получается из другой?

«*Метафора – мотор формы*», – говорил великий биолог стиха Андрей Вознесенский.

В классе однодольных этот мотор работает на полную мощь.

Библиография

- Лосев А. Ф. Философия. Мифология. Культура [Philosophy. Mythology. Culture]. М., 1991. 525 с.
Хохряков А. П. Соматическая эволюция однодольных [Somatic evolution of monocots]. М., 1975. 186 с.

On the work of Andrey Khokhryakov

LINNIK Yury

PetrSU, yulinnik@yandex.ru

References

Philosophy. Mythology. Culture. M., 1991. 525 p.
Somatic evolution of monocots. M., 1975. 186 p.

Всегда ли история науки – это свод биографий?

МАКАРОВ
Александр Михайлович

*Петрозаводский государственный университет,
a.makarov@karelia.ru*

Получена: 30 марта 2016 года

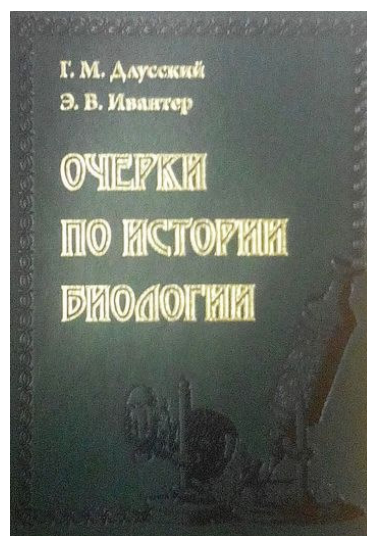
Подписана к печати: 07 апреля 2016 года

История любой науки – это те люди, которые создавали и развивали эту науку. Поэтому многие серьезные источники по истории науки фактически являются сборниками биографий. Это очень интересно и полезно, но в учебном процессе такую книгу использовать трудно: фактического материала очень много, а логика развития науки тонет в деталях. Студенты такой курс воспринимают тяжело и, как следствие, единой картины истории науки у них (то есть и у нас – все мы бывшие студенты) не формируется.

Книга «Очерки по истории биологии» Г. М. Длусского и Э. В. Ивантера преследует своей целью показать именно общие тенденции развития биологии, останавливаясь лишь на некоторых ключевых моментах истории этой науки. Задача этой книги – формирование целостной картины истории биологии. Соответственно предназначена она как студентам, так и преподавателям, и рекомендована в качестве университетского учебника по направлению «Биология».

Можно спорить, почему те или иные фамилии здесь не упомянуты или почему период XX века изложен столь кратко, но все мы знаем, что «нельзя объять необъятное». Стремясь создать единую картину, необходимо жертвовать деталями, чтобы все основное сохранилось в памяти читателей. И тем не менее, в книге присутствует еще и раздел «Биология на рубеже XX и XXI веков» с изложением возможных перспектив развития биологии. Может быть, развитие пойдет и в каких-то других направлени-

ях, но об этом мы узнаем только в будущем. Почему эта книга упоминается в журнале «Принципы экологии»?



Тому две основные причины: с одной стороны становлению и развитию экологии посвящен в ней отдельный раздел, с другой стороны – любому экологу всегда полезно освежить свои познания в истории биологической науки.

У этой книги долгая история и два автора. Геннадий Михайлович Длусский (1937-2014) более 20 лет читал на биологическом факультете МГУ курс лекций «История и методология биологии», на основе которого родилась одноименная книга (2006). До появления на свет нынешнего издания он, к сожалению, не дожил. Завершил работу и существенно дополнил рукопись «Очерки по истории биологии» Эрнест Викторович Ивантер.

Библиография

Длусский Г. М., Ивантер Э. В. Очерки по истории биологии. Петрозаводск: Издательство ПетрГУ. 2016. 286 с.

The history of science - is it always a set of biographies?

MAKAROV Alexandre

PetrSU, a.makarov@karelia.ru

References

Dlusskiy G. M. Ivanter E. V. Essays on the History of BiologyPetrozavodsk: Izdatel'stvo PetrGU. 2016.
286 p.