

## Тепловлагорегулирующая функция ландшафтов в таежной зоне по данным дистанционного зондирования (на примере Вологодской области)

З.В. Бортновский

*Государственный университет «Дубна», Дубна, 141982, Россия  
E-mail: zakhar.rus@mail.ru*

Одно из важнейших свойств Живой Земли – преобразование большей части солнечного излучения, поглощаемого подстилающей поверхностью, в потоки явного и скрытого тепла. На суше в роли основного эмитента скрытого тепла выступают ландшафты с сомкнутым растительным покровом, в особенности лесные таксоны. Задача исследования: ранжировать по показателям выброса явного и скрытого тепла в вегетационный период ландшафты таежной зоны на территории Вологодской области и увидеть их относительную роль в структуре влагооборота. В западной половине Вологодской области выделены два репрезентативных района площадью 1500 км<sup>2</sup> каждый, различные по ландшафтной структуре. В их пределах проводились маршрутные исследования и осуществлена дифференциация ландшафтов по показателям выброса явного и скрытого тепла. Использовано упрощенное уравнение теплового баланса подстилающей поверхности. Результаты получены с помощью обработки в QGIS многозональных данных дистанционного зондирования Landsat 5TM и Landsat 8OLI TIRS. Проведено дешифрирование ландшафтов двух районов исследования и определены относительные градиенты теплового поля выделенных ландшафтных таксонов в пределах репрезентативных профилей. Установлено, что в границах исследованных районов наибольшим потоком скрытого тепла характеризуются лесные ландшафты, а среди их различных таксонов – ненарушенные вырубками коренные леса. Значительнее всего поток скрытого тепла снижается на незалесенных сплошных вырубках, а также в пределах урболандшафта.

**Ключевые слова:** трансформация ландшафтов, сплошные вырубки, влагооборот, скрытое тепло, явное тепло, остров тепла, тепловлагорегулирующая функция

*Одобрена к печати: 14.02.2017  
DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-215-224*

### Введение

Тепловлагорегулирующая функция связана с особенностями энергообмена между подстилающей поверхностью (в географическом смысле — ландшафтом) и атмосферой, что выражается соотношением потоков тепла и влаги. Их относительные оценки могут быть компонентом геоэкологического анализа территорий.

Особенности взаимодействия подстилающей поверхности и атмосферы рассматривались как на планетарном уровне (Золотокрылин, 2003; Miralles et al., 2010), так и на региональном и макрорегиональном уровне (Карпечко, Бондарик, 2010; Медведков, 2016). Эти исследования, помимо масштаба, отличаются используемой методологией и целевой направленностью.

Данная статья расширяет практику изучения тепловлагорегулирующей функции с применением данных дистанционного зондирования (ДДЗ) на региональном уровне, что является актуальным, поскольку взаимодействие подстилающей поверхности и атмосферы неодинаково в различных районах Земли.

## Методология исследования

При исследовании тепловлагорегулирующей функции использовался подход, базирующийся на упрощенном уравнении теплового баланса подстилающей поверхности (Будыко, 1977):

$$R = P + LE;$$

$R$  – радиационный поток тепла;

$P$  – турбулентный поток тепла от подстилающей поверхности к атмосфере (выброс тепла в явной форме);

$LE$  – затраты тепла на испарение, в т. ч. транспирацию (выброс тепла в скрытой форме).

Параметр  $LE$  характеризует величину потенциала влагооборота в системе «ландшафт-атмосфера». Чем меньше поток явного тепла, тем больше поток тепла в скрытой форме, следовательно выше влагообменный потенциал ландшафта. Использование упомянутого уравнения позволяет оценивать поток скрытого тепла через поток явного тепла, мерой которого служит температура подстилающей поверхности, при этом радиационный поток тепла в конкретный момент времени принимается константой. Один из способов выявления температуры подстилающей поверхности основан на обработке ДДЗ со спутников, включающих съемку в тепловом инфракрасном диапазоне.

В данной работе использовались архивные многозональные снимки Landsat 5TM и Landsat 8 OLI TIRS. Тепловой ИК-канал спутника Landsat 5 имеет пространственное разрешение 120 м в спектральной зоне 10,4–12,5 мкм. Спутник Landsat 8 ведет тепловую ИК съемку в спектральных диапазонах 10,60–11,19 мкм и 11,50–12,51 мкм с пространственным разрешением 100 м (What are..., 2016).

Применение ДДЗ, в том числе Landsat, при исследовании тепловлагорегулирующей функции ландшафтов позволяет использовать тепловой канал совместно с данными других спектральных диапазонов того же снимка, используемых для тематического дешифрирования мозаики ландшафтов, при одновременном выявлении относительных градиентов их теплового поля. Это позволяет оценивать пространственную дифференциацию теплового поля подстилающей поверхности, что осуществлялось с использованием температурных профилей.

Необходимо отметить, что на достоверность исследования температур дистанционными методами влияет комплекс факторов (ГИС-Лаб..., 2016; Использование..., 2016), из которых наибольшее значение для решаемой задачи имеет зависимость от облачного покрова. Вследствие этого возрастает важность отбора исходных данных.

Следует сделать важное замечание: оценка температур подстилающей поверхности проводилась на основании показателя яркостной температуры at-satellite brightness temperature, которая в строгом смысле не равна истинной температуре непосредственно земной поверхности, однако может быть использована для относительных оценок (Тутубалина, 2009).

Непосредственно ДДЗ обрабатывались с помощью дополнительного модуля полуавтоматической классификации (Semi-automatic classification plugin) в ГИС QGIS. Помимо собственно классификации с обучением, он позволяет автоматизировать операции растровой алгебры при обработке первичных («сырых») данных спектральных каналов, в том числе конвертацию безразмерных значений яркости (Digital number, DN) в значения излучения, приходящего на сенсор и для теплового канала, – расчет значений яркостной температуры. Для классификации без обучения по методу ISODATA использовалась программа MultiSpec. Для выявления значений температур по профилям в QGIS использовался модуль Terrain profile. При дешифрировании космоснимков и последующей классификации использовались материалы полевых наблюдений с участием автора, а также высокодетальных снимков с общедоступных картографических интернет-сервисов.

### **Характеристика районов исследования**

С использованием указанного метода в вегетационный период исследовались природные ландшафты и их антропогенные модификации в Вологодской области. Регион расположен на севере Европейской России на сопряжении подзон южной и средней тайги.

Длительное природопользование привело к значительной трансформации природных, коренных ландшафтов. Важнейший фактор таких изменений — лесозаготовки, вследствие которых коренные таежные леса на большей части территории области уступили место лесам различных стадий вторичной сукцессии, а также сельскохозяйственным, в основном полевым, ландшафтам. Указанные процессы нашли отражение в выборе двух районов исследования.

Первый район – «Андомский». Находится в пределах одноименной возвышенности на северо-западе области, вблизи границ с республикой Карелия и Архангельской областью. Здесь чехол четвертичных образований подстилают известняки, доломиты и песчаники каменноугольного возраста. Четвертичный покров слагают отложения ледникового комплекса валдайского оледенения, а также поздне-последледниковые речные отложения и голоценовые торфяники. Мощность четвертичного чехла существенно колеблется (от менее 20 до более 100 м). На нем развиты подзолистые суглинистые почвы, а также почвы болотного генезиса. Коренная растительность среднетаежная темнохвойная (еловые леса). Наиболее распространены урочища моренных холмов с сообществами чернично-брусничного ряда, также распространены урочища низин, ложбин (в том числе занятых озерами) с сообществами долгомошными, болотно-травяными и сфагновыми, а также переходные и низинные болота. Реже встречаются урочища плоских моренных равнин избыточного увлажнения (Атлас..., 2007; Государственная... (Петрозаводск), 2000; Максимова, 2006; Природа..., 2007).

Указанный район до недавнего времени был одним из последних на территории области, слабо затронутым хозяйственной деятельностью. По данным архивных

картографических материалов (Старые..., 2016), в его западной части было несколько малых деревень, которые перестают отмечаться на картах, изданных во второй половине XX в. Около 40–50 лет назад на территории района начались промышленные лесозаготовки. Это установлено с помощью архивной спутниковой съемки Landsat 2 1976 г., на которой фиксируются свежие и уже начавшие зарастать вырубки на севере и западе района. Важно наличие в его пределах трех комплексных ландшафтных заказников – особо охраняемых природных территорий (ООПТ) регионального значения с сохранившимися коренными лесами. Такие леса наиболее характерны для заказника «Атлека», расположенного в восточной части района (см. *рис. 1*), тогда как в границах современных Верхне-Андомского (западный) и Сойдозерского (центральный) заказников ранее располагались деревни и на этих ООПТ наряду с коренными встречаются вторично сукцессионные леса.

Второй район – «Вологодский». Он располагается на юге центральной части области, вблизи областного центра г. Вологда. Наибольшая его часть приурочена к Вологодской возвышенности, и лишь фрагмент на северо-востоке примыкает к Присухонской низине. Под четвертичными отложениями залегают породы триаса (глины, алевролиты с линзами песков, песчаников и конгломератов) и перми (известняки, глины). Четвертичный чехол образован отложениями ледникового комплекса московского оледенения, испытавших затем частичное влияние талых вод валдайского оледенения, в долинах гидросети развиты аллювиальные отложения. Мощность четвертичного чехла достигает 70–80 м. В ландшафте преобладают урочища моренных равнин, холмов, увалов на дерново-подзолистых почвах. Распространены урочища речных долин, реже – урочища волнистых озерно-ледниковых равнин с нормальным и избыточным увлажнением (Атлас..., 2007; Государственная... (Нижний Новгород), 2000; Максимова, 2006; Природа..., 2007).

Многовековое природопользование в этом районе привело к замещению коренных южнотаежных лесов вторично сукцессионными модификациями, а также обусловило широкое распространение агроландшафтов.

### Практические результаты

На *рис. 1* представлена картосхема<sup>1</sup> ландшафтов района «Андомский», построенная по методу классификации с обучением снимка Landsat 5 начала июня 2007 г. (год выбран ввиду большей репрезентативности некоторых профилей (профиль А4–Б4)).

В ландшафтной структуре района «Андомский» выделены:

Условно коренные ландшафты: темнохвойные леса (незаболоченные), заболоченные леса (без подразделения по составу) и болота.

Вторично-производные ландшафты: мелколиственные и смешанные (темнохвойно-мелколиственные) леса – преимущественно на местах разновременных вырубок,

---

<sup>1</sup> Для улучшения зрительного восприятия результат классификации территории обоих районов генерализован с использованием алгоритмов фильтрации.

значительно реже – на месте бывших деревень, а также ветровалов; вырубки – необлесенные участки на месте недавних сплошных рубок.

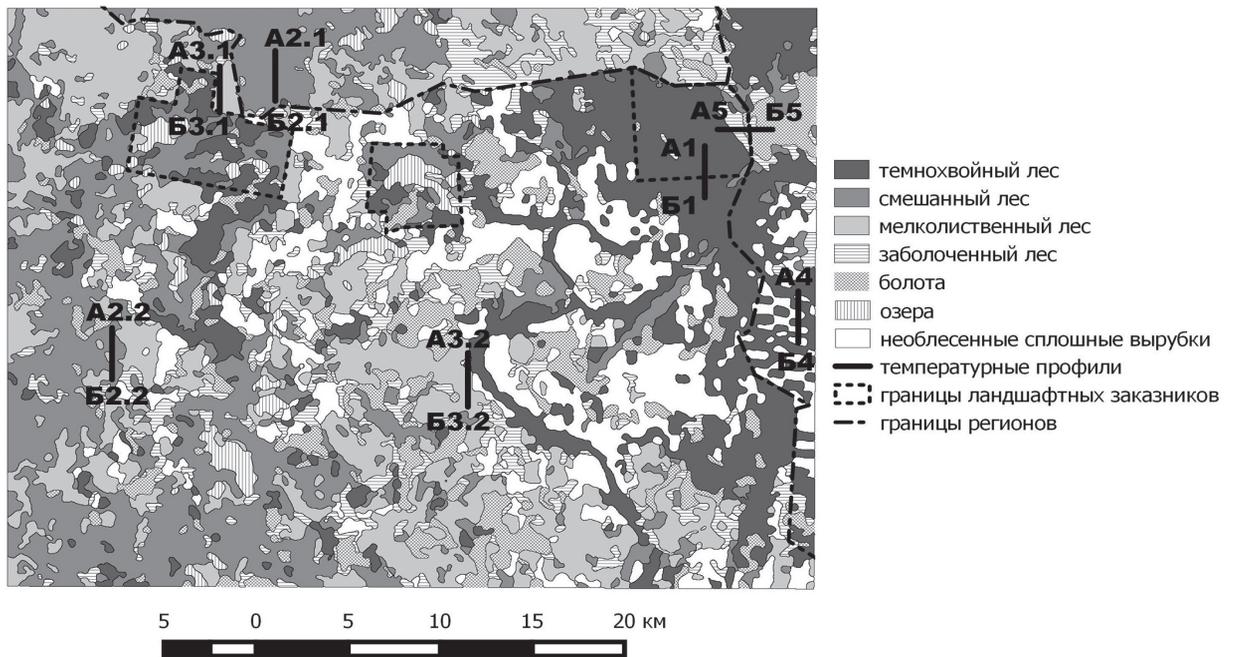


Рис. 1. Картосхема ландшафтов района «Андомский»

Расположение температурных профилей призвано учесть разнообразные ландшафтные особенности района. Так, профиль А1–Б1 проходит вдоль условно коренного темнохвойного (незаболоченного) леса. Профили А2.1–Б2.1 и А2.2–Б2.2<sup>2</sup> накладываются на вторично сукцессионные преимущественно смешанные мелколиственно-темнохвойные леса, на месте наиболее старых в границах района сплошных рубок начала 1970-х гг., в то время как профили А3.1–Б3.1 и А3.2–Б3.2 характеризуют более молодые преимущественно мелколиственные вторично сукцессионные леса на месте сплошных рубок начала 1990-х гг. Профиль А4–Б4 охватывает участки условно коренной тайги и свежих сплошных рубок. А5–Б5 учитывает различные типы условно коренных ландшафтов: постепенное заболачивание вдоль профиля условно коренного темнохвойного леса с переходом в болото.

Распределение температур подстилающей поверхности по указанным профилям показано на рис. 2 (шкалы температур одинакового масштаба).

Согласно графикам распределения температур, различные типы лесных ландшафтов в целом имеют наименьшие значения температуры относительно прочих ландшафтов района, т. е. обеспечивают наибольшие потоки скрытого тепла, расходуя энергию на поддержание влагооборота между подстилающей поверхностью и атмосферой. При этом условно коренные темнохвойные незаболоченные лесные ландшафты не уступают по потоку скрытого тепла вторично сукцессионным. Для вторичных лесов заметно, что наиболее

<sup>2</sup> На графиках распределения температур для парных профилей с дробным кодом представлены усредненные значения.

молодые мелколиственные леса обеспечивают меньший поток скрытого тепла относительно более возрастных смешанных древостоев на месте наиболее старых вырубок в пределах района. Профиль А4–Б4 отображает выраженные контрасты температурного поля условно коренного незаболоченного темнохвойного леса и «свежих» необлесенных сплошных вырубок. Это свидетельствует, что при сплошных рубках поток скрытого тепла существенно редуцируется и сохраняется таким до формирования вторичных древостоев. Температура подстилающей поверхности по профилю А5–Б5 возрастает в ряду условно коренных ландшафтов: темнохвойный незаболоченный лес, заболоченный лес, болото. Соответственно обратным образом меняется поток скрытого тепла.

Указанные особенности позволяют произвести относительную классификацию ландшафтов по потоку скрытого тепла, определяющего величину потенциала влагооборота между подстилающей поверхностью и атмосферой (табл. 1).

Таблица 1. Классификация ландшафтов района «Андомский» по потоку скрытого тепла

Тип ландшафта	Выявленные температуры <sup>3</sup> по профилю <sup>4</sup> , $T^{\circ}\text{C}$		Класс (ранг)
	диапазон	среднее	
Темнохвойный лес (климаксный)	13,4–14,3	13,7	I
Смешанный темнохвойно-мелколиственный лес (возраст до 40 лет)	13,8–15,5	14,6	II
Заболоченный лес (климаксный)	15,2–16,6	16,0	III
Мелколиственный лес (возраст до 20 лет)	15,2–16,6	15,9	III
Болото	18,9–20,2	19,5	IV
Незалесенная сплошная вырубка	22,4–23,3	22,8	V

На рис. 3 представлена картосхема ландшафтов района «Вологодский», выполненная по методу ISODATA по снимку Landsat 8 второй половины июля 2014 года.

Район «Вологодский» представлен вторично-производными ландшафтами. Выделены:

- вторично сукцессионные леса (с подразделением на темнохвойные, смешанные и мелколиственные);
- агроландшафты, дифференцированные вследствие сезонной динамики культур, а также специфики вовлеченности в хозяйственный оборот: с/х угодья «слабой интенсивности вегетации» – почвы под паром, а также другие участки с преимущественным отсутствием вегетирующей растительности; с/х угодья «средней интенсивности вегетации»; с/х угодья «сильной вегетации» (включая также «зарастающие» с/х угодья);
- урболандшафт.

<sup>3</sup> Важно помнить, что в данном случае численные значения температур используются для относительных оценок. Кроме того, следует отметить недопустимость прямых сравнений температурного фона между двумя рассматриваемыми районами, поскольку его оценка базируется на двух разных снимках.

<sup>4</sup> Для профилей, проходящих в пределах одного типа ландшафтного покрова, результат вычислен по всей выборке значений температур вдоль профиля, для остальных – по выборке значений вдоль соответствующего характерного фрагмента профиля.

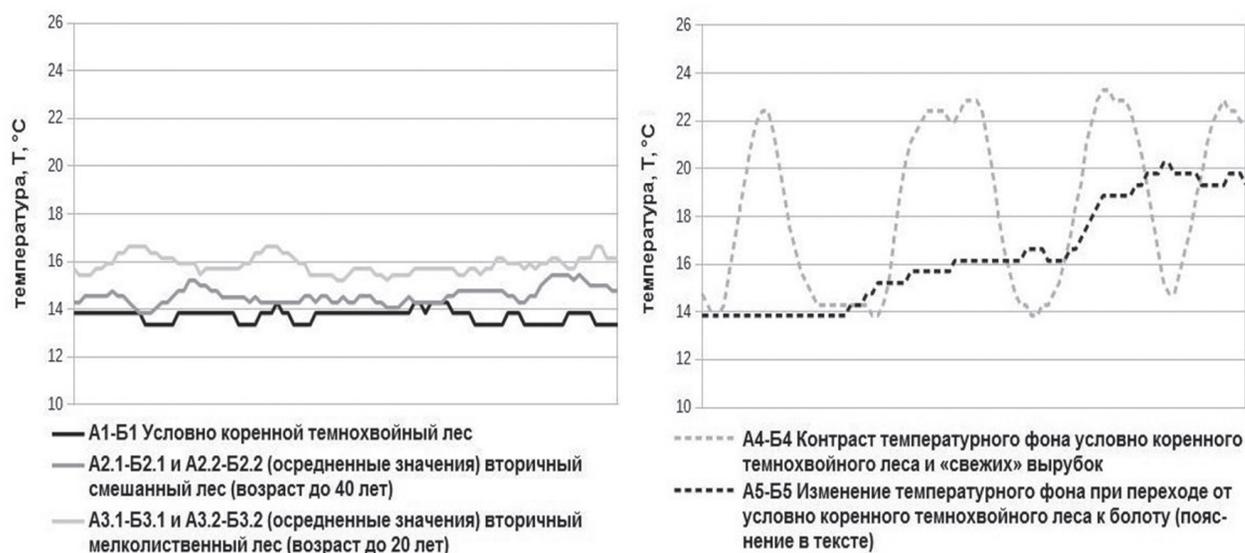


Рис. 2. Температуры по профилям района «Андромский»

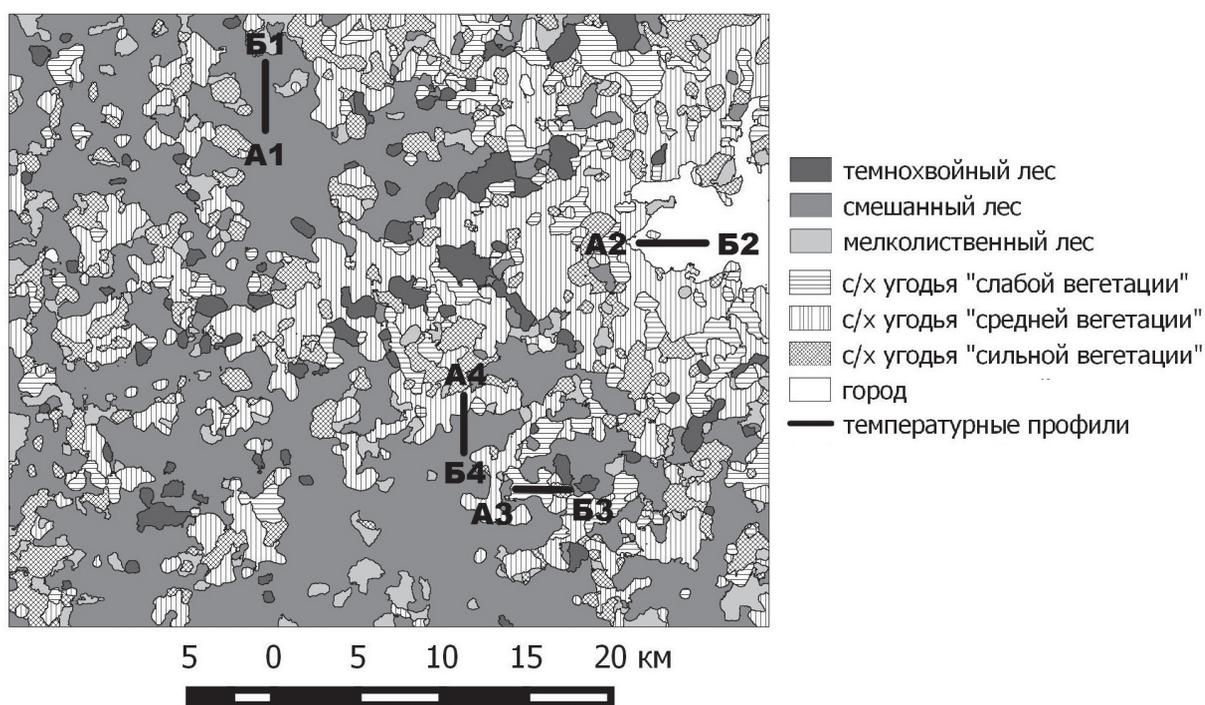


Рис. 3. Картограмма ландшафтов района «Вологодский»

Температурные профили для района «Вологодский» соответственно отображают: А1–Б1 – вторично сукцессионный преимущественно смешанный темнохвойно-мелколиственный лес, А2–Б2 – урбандшафт в пределах промышленной и селитебной зон, А3–Б3 – агроландшафты с с/х угодьями «слабой» и «сильной» вегетации, А4–Б4 – с/х угодья «средней» вегетации и вторично сукцессионный преимущественно смешанный темнохвойно-мелколиственный лес.

Графики распределения температур подстилающей поверхности представлены на рис. 4 (шкалы температур одинакового масштаба).

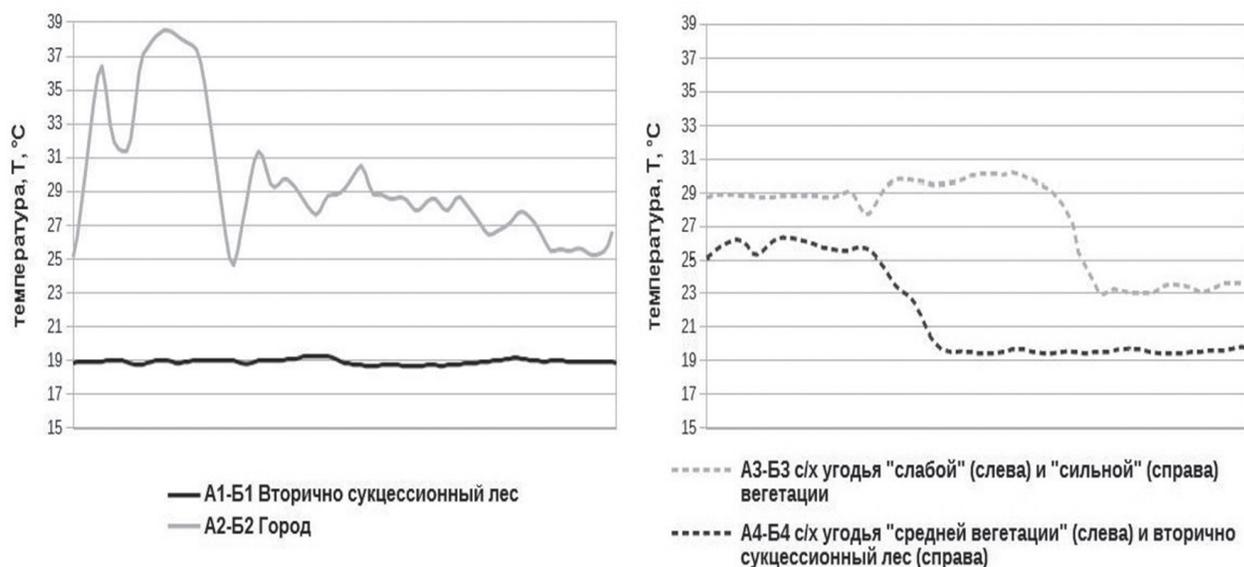


Рис. 4. Температуры по профилям района «Вологодский»

Значения температурного фона для вторично сукцессионных лесных ландшафтов наименьшие в ряду других типов подстилающей поверхности района, т. е. лесные ландшафты обеспечивают наибольшие потоки скрытого тепла в указанный период вегетации. Профиль урболандшафта (А2–В2) отображает явление «острова тепла» с наибольшими среди выделенных ландшафтов значениями температуры. При этом максимальные значения приурочены к промышленным зонам, а более низкие характеризуют жилые и общественные районы, где температурный фон ниже за счет элементов городского озеленения. Температурный фон вдоль «агро»-профиля А3–В3 характеризует дифференциацию значений температуры для разных с/х угодий: наибольшую для «слабо вегетирующих» и наименьшую для «сильно вегетирующих». Но даже с/х угодья в фазе «сильной вегетации» все равно обеспечивают меньший поток скрытого тепла, чем вторично сукцессионный лес, на что указывает распределение минимальных значений температур по профилям А3–В3 и А4–В4.

Классификация ландшафтов района по потоку скрытого тепла дана в табл. 2.

Таблица 2. Классификация ландшафтов района «Вологодский» по потоку скрытого тепла

Тип ландшафта	Выявленные температуры по профилю, T °C		Класс (ранг)
	диапазон	среднее	
Вторично сукцессионный лес	18,7–19,3	18,9	I
Агрландшафт (обобщенно), в т. ч.:	23,0–30,2	26,1	II
с/х угодья «сильной вегетации»	23,0–23,6	23,3	IIa
с/х угодья «средней вегетации»	25,1–26,3	25,8	IIб
с/х угодья «слабой вегетации»	27,7–30,2	29,2	IIв
Урболандшафт	24,6–38,5	29,7	III

## Выводы

В пределах исследованных «Андомского» и «Вологодского» районов каждого в отдельности выявлены различия по особенностям тепловлагорегулирующей функции в группе природных и вторично-производных ландшафтов. Чем ниже поверхностная температура, а, следовательно, выше выброс скрытого тепла ландшафтом, тем значительнее его тепловлагорегулирующая функция, выражающаяся в усилении потенциала влагообмена в системе ландшафт – атмосфера как компоненте круговорота воды в природе.

По результатам исследования на основании анализа температурных профилей по ДДЗ на примере коренных и вторично-производных ландшафтов района «Андомский» установлено, что в пределах вегетационного периода максимальный поток скрытого тепла характерен для условно коренного темнохвойного леса, несколько меньший – для смешанного вторично сукцессионного леса. Следующие ландшафты в ряду убывания потока скрытого тепла — более молодой вторично сукцессионный мелколиственный лес и заболоченный условно коренной лес. Наименьший поток скрытого тепла установлен для болота и «свежих» незалесенных сплошных вырубков. Анализ температурных профилей вторично-производных ландшафтов района «Вологодский» позволил определить наибольший поток скрытого тепла для вторично сукцессионного леса, меньший – для агроландшафтов, наименьший — для урболандшафта.

Автор благодарит за консультации д.г.н. С.П. Горшкова и к.г.н. А.А. Медведкова.

## Литература

1. Атлас Вологодской области / Ред. Е.А. Скупинова. Череповец: «Порт-Апрель», 2007. 108 с.
2. Будыко М.И. Глобальная экология. М.: Мысль, 1977. 327 с.
3. Государственная геологическая карта РФ 1:1000000. Карта четвертичных образований, лист О-37(38) (Нижний Новгород). СПб: ВСЕГЕИ, 2000.
4. Государственная геологическая карта РФ 1:1000000. Карта четвертичных образований, лист Р-(35)37 (Петрозаводск). СПб: ВСЕГЕИ, 2000.
5. Золотокрылин А.Н. Климатическое опустынивание. М.: Наука, 2003. 245 с.
6. Карпечко Ю.В., Бондарик Н.Л. Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне Европейского севера России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 225 с.
7. Максимова Н.К. Ландшафты Вологодской области: учебное пособие. Вологда: Учебная лит., 2006. 55 с.
8. Медведков А.А. Среднетаёжные геосистемы Приенисейской Сибири в условиях меняющегося климата. М.: Макс-Пресс, 2016. 180 с.
9. Природа Вологодской области / Ред. Г.А. Воробьев. Вологда: Вологжанин, 2007. 434 с.
10. Тутубалина О.В. Компьютерный практикум по курсу «Космические методы исследования почв». М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2009. 111 с.
11. ГИС-Лаб: Дистанционное геотермическое картографирование. URL: <http://gis-lab.info/qa/thermal.html> (дата обращения 07.11.2016).
12. Использование космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне для географических исследований. Физические основы. URL: [http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat\\_img/files/1/fizicheskie\\_osnovy.htm](http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat_img/files/1/fizicheskie_osnovy.htm) (дата обращения 07.11.2016).
13. Старые карты городов России он-лайн. URL: <http://www.etomesto.ru/> (дата обращения 01.11.2016).
14. Miralles D.G., Gash J.H., Holmes T.R.H., Richard A.M., Dolman A.J. Global canopy interception from satellite observations // Journal of Geophysical Research. Atmospheres. 2010. Vol. 115. D16122. DOI: 10.1029/2009JD013530.
15. What are the band designations for the Landsat satellites? // U.S. Geological Survey. Landsat Missions. Available at: <https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites> (accessed 10.11.2016).

# Heat and moisture regulation function of landscapes in taiga zone by remote sensing data (the case of Vologda Region)

Z.V. Bortnovskiy

Dubna State University, Dubna 141982, Russia  
E-mail: zakhar.rus@mail.ru

Solar radiation absorbed by the Earth surface is converted mainly into sensible heat flow and latent heat flow. The research is based on the short-cut equation of the Earth surface heat balance. Landscapes with closed canopy, especially forested ones are the major emitter of latent heat flow on the land. The article is aimed at ranging the taiga zone landscapes in accordance with parameters of latent heat flow and sensible heat flow. It was important to deduce the relative shares of landscape taxons in the water cycle structure. The research was carried out in the Vologda Region during vegetation period. Two representative regions were selected in the western half of the Vologda Region, each of them about 1500 km<sup>2</sup> area and different landscape structure. Fieldwork was carried out in these regions and differences of landscapes were found out by parameters of latent heat flow and sensible heat flow. The research was performed in QGIS. The results are based on processing of Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI TIRS multispectral remote sensing data. Landscapes of both regions were decoded. Relative gradients of thermal field along representative profiles were defined. Maximum latent heat flow was defined for forest landscapes, in particular for climax forests undisturbed by logging. Minimum latent heat flow was defined for fresh clear felling and urban landscape.

**Keywords:** landscapes transformation, clear felling, water cycle, latent heat, sensible heat, heat island, heat and moisture regulation

Accepted: 14.02.2017

DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-215-224

## References

1. *Atlas Vologodskoy oblasti* (Atlas of Vologda region), E.A. Skupinova (ed.), Cherepovets: Port-Aprel Publ., 2007, 108 p.
2. Budyko M.I., *Globalnaya ekologiya* (Global ecology), Moscow: Mysl Publ., 1977, 327 p.
3. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Karta chetvertichnykh obrazovaniy, list O-37(38) (Nizhniy Novgorod)* (State geologic map. Map of quaternary formation, map sheet O-37(38), (Nizhniy Novgorod)), St. Petersburg: VSEGEI, 2000.
4. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Karta chetvertichnykh obrazovaniy, list P-35(37) (Petrozavodsk)* (State geologic map. Map of quaternary formation, map sheet P-35(37), (Petrozavodsk)), St. Petersburg: VSEGEI, 2000.
5. Zolotokrylin A.N., *Klimaticheskoe opustynivanie* (Climatic desertification), Moscow: Nauka Publ., 2003, 245 p.
6. Karpechko Yu.V., Bondarik N.L., *Gidrologicheskaya rol' lesokhozyaistvennykh I lesopromyshlennykh rabot v taezhnoy zone evropeyskogo severa Rossii* (Hydrological role of forestry and timber works in taiga zone of North European Russia), Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2010, 225 p.
7. Maksutova N.K., *Landschafty Vologodskoy oblasti* (Landscapes of Vologda region), Vologda: Uchebnaya literatura Publ., 2006, 55 p.
8. Medvedkov A.A., *Srednetaezhnye geosistemy Prieniseiskoy Sibiri v usloviyakh menyayushegosya klimata* (Middle taiga geosystems of near-Enisey Siberia at conditions of climate change), Moscow: Max-press Publ., 2016, 180 p.
9. *Priroda Vologodskoy oblasti* (Nature of Vologda region), G.A. Vorobyev (ed.), Vologda: Vologzhanin Publ., 2007, 434 p.
10. Tutubalina O.V., *Komp'yuternyi praktikum po kursu Kosmicheskie metody issledovaniya pochv* (Computer practical work for course Space methods of soil research), Moscow: MSU Publ., 2009, 111 p.
11. *GIS-Lab: Distantionnoe geotermicheskoe kartografirovaniye* (GIS-Lab: Remote geothermal mapping), available at: <http://gis-lab.info/qa/thermal.html> (accessed 07.11.2016).
12. *Ispolzovanie kosmicheskikh snimkov v teplovom infrakrasnom diapazone dlya geograficheskikh issledovaniy. Fizicheskie osnovy* (Using of thermal Infra-red satellite data for geographic research. Physical base), available at: [http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat\\_img/files/1/fizicheskie\\_osnovy.htm](http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat_img/files/1/fizicheskie_osnovy.htm) (accessed 07.11.2016).
13. *Starye karty gorodov Rossii on-lain* (Old maps of Russian cities on-line), Available at: <http://www.etomesto.ru/> (accessed 01.11.2016).
14. Miralles D.G., Gash J.H., Holmes T.R.H., Richard A.M., Dolman A.J., Global canopy interception from satellite observations, *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*, 2010, Vol. 115, D16122, DOI: 10.1029/2009JD013530.
15. What are the band designations for the Landsat satellites? *U.S. Geological Survey. Landsat Missions*, available at: <https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites> (accessed 10.11.2016).