## МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ГИС центр ПГНИУ

## ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Выпуск 6

Сборник научных трудов

УДК 528.7: 63: 556.18 ББК 26.12: 40: 43: 38.771

Γ35

Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр./ Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2013. – Вып. 6.– 109 с.: ил.

ISBN 978-5-7944-2231-3 (вып. 6) ISBN 978-5-7944-1203-1

Сборник содержит доклады участников VI межрегиональной научно-практической конференции «Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края».

Адресован специалистам, использующим современные геоинформационные технологии при решении задач пространственного развития территорий, а также аспирантам и студентам, изучающим естественнонаучные дисциплины.

УДК 528.7: 63: 556.18 ББК 26.12: 40: 43: 38.771

Печатается по решению оргкомитета межрегиональной конференции

### Оглавление

<b>А. Н. Шихов</b> Математико-картографическая модель формирования и таяния снежного покрова на водосборе Воткинского водохранилища	5
Г. М. Батракова, О. В. Ивенских, Р. Д. Гарифзянов Тематическая обработка космических снимков территорий захоронения ТБО с использованием программного продукта ScanEx Image Processor	23
<b>А. Ю. Турышев, А. Н. Согрина</b> Использование ГИС для поиска перспективных мест произрастания некоторых видов дикорастущих лекарственных растений в пределах Кунгурской островной лесостепи	30
<b>И. С. Копылов</b> Результаты и перспективы региональных гидрогеологических работ в Пермском крае и их геоинформационное обеспечение	34
<b>А. Н. Шихов, Р. К. Абдуллин</b> Моделирование зон затопления при образовании ледового на реках с помощью ГИС-технологий (на примере с. Бобровка и пос. Усьва Пермского края)	41
К. Г. Шварц, В. А. Шкляев Методические подходы к созданию системы локального расчетного мониторинга атмосферных биоаэрозолей	56
<b>А. Н. Шихов, А. В. Быков</b> Информационно-аналитический сайт «Опасные природные явления Пермского края»	61
<b>А. Л. Ветров, Е. М. Свиязов, А. Н. Шихов</b> Установление взаимосвязи между полем облачности и температурным режимом приземного слоя атмосферы при помощи модели WRF	66
С. В. Исаков Определение динамики изменения дифференциального альбедо территории	72
<b>А. А. Поморцева</b> Исследование эволюции конвективных систем, сопровождающихся шквалами, в июле 2013 г.	78

А. Л. Ветров, А. А. Поморцева, Е. М. Свиязов	
Изучение случаев сильных продолжительных снегопадов с использо-	
ванием доплеровского метеорологического радиолокатора	86
О. В. Сухова, Н. А. Калинин	
Геоинформационное моделирование снегонакопления на переходных	
участках от открытых территорий к залесенным	94
Е. С. Черепанова	
Картографирование лесных ресурсов на разновременных картах XIX-	
XXI вв. (территория Пянтежской лесной дачи)	100
А. И. Пономарчук	
Влияние тенденций развития дистанционного зондирования Земли на	
структуру информационных систем мониторинга природопользования	104

#### Математико-картографическая модель формирования и таяния снежного покрова на водосборе Воткинского водохранилища

А. Н. Шихов ГИС-центр ПГНИУ, gis@psu.ru

Важнейшим фактором, определяющим объем стока, максимальные уровни и расходы воды весеннего половодья, является процесс снеготаяния. Интенсивность таяния снежного покрова, и объем поступающих на водосборы талых вод, обусловлены сложным взаимным влиянием комплекса гидрометеорологических условий и свойств подстилающей поверхности. В совокупности с низкой плотностью и нерепрезентативностью сети наблюдений, это является существенным препятствием для повышения достоверности моделирования и прогноза снеготаяния и весеннего стока.

Основой распределенного гидрологического моделирования (в том числе моделирования процессов формирования и таяния снежного покрова) является применение цифровых моделей рельефа и карт типизации подстилающей поверхности (Land cover/Land use). В работах С.Г. Яковченко, по отношению к данному комплексу базовой пространственной информации применяется термин Универсальная цифровая модель местности [13]. На ее основе реализуются различные методики расчета снеготаяния, с учетом влияния факторов подстилающей поверхности. Расчеты выполняются средствами ГИС-технологий на основе методов растровой алгебры.

В качестве территории исследования выбран водосбор Воткинского водохранилища, площадь которого составляет 184 тыс. кв. км. Исходя из низкой плотности сети наблюдений на исследуемой территории, размер ячейки растра при моделировании принят равным 3000 м. Временной шаг модели снеготаяния принимается равным 12 или 24 ч., при использовании разных методов. В качестве периода исследования выбраны 2010–2013 гг, которые являются достаточно разнообразными и репрезентативными по условиям формирования и таяния снежного покрова.

В качестве входных данных в модели снеготаяния используются:

- Глобальная цифровая модель рельефа Etopo2 (GLOBE), с исходным пространственным разрешением 30 угловых секунд;
- Карта типизации растительного покрова;
- Данные о максимальном запасе воды в снежном покрове;
- Ежедневные данные наблюдений на сети метеостанций (в зависимости от выбора метода расчета интенсивности снеготаяния, используется различный набор входных метеорологических данных);
- Данные ДЗЗ низкого и среднего разрешения для калибровки модели и проверки результатов.

Подготовка данных и расчеты выполнены средствами программных продуктов ArcGis 10.1, Scanex Image Processor 3.6.12 и SAGA 2.0.

В качестве исходных данных о типах растительности при моделировании формирования и таяния снежного покрова на водосборах крупных рек, обычно используются информационные продукты глобального охвата, например, GlobCover-2009 [14]. Его определенным недостатком является объединение классов темнохвойных и сосновых лесов, условия снегонакопления и снеготаяния в которых существенно различаются.

В связи с этим, возникла необходимость создания карты типизации растительного покрова на исследуемую территорию. Типизация была выполнена на основе разносезонных снимков Terra MODIS. Обработка данных космической съемки выполнена средствами ПО Scanex Image Processor. Для классификации растительного покрова на водосборе Воткинского водохранилища были отобраны безоблачные снимки Terra MODIS за 26.07.2010 г. и 28.02.2011 г. На основе красного и ближнего ИК каналов зимнего и летнего снимков, имеющих пространственное разрешение 250 метров, был создан мультисезонный композит, что позволило спектрально разделить классы темнохвойных и сосновых лесов. В связи с недостатком данных, которые могли быть использованы для обучаемой классификации, был использован алгоритм неуправляемой классификации IZODATA. Результат классификации типов растительного покрова представлен на рис. 1.

#### Методы расчета интенсивности снеготаяния

Для расчетов интенсивности снеготаяния на водосборах рек использованы следующие методы:

- 1. Метод П.П. Кузьмина [5],
- 2. Метод Е.Г. Попова [7],
- 3. Расчет по среднесуточной температуре воздуха [6].

**Метод П. П. Кузьмина** основан на решении уравнения теплового баланса снежного покрова, в предположении, что температура тающего снега равна 0° [5]. Решение уравнения теплового баланса строгими методами предполагает наличие комплекса наблюдений, который возможно осуществить лишь на экспериментальных водосборах и воднобалансовых площадках. Поэтому, в чистом виде метод теплового баланса на практике не применяется. Для оценки составляющих теплового баланса снежного покрова, П.П. Кузьминым разработаны упрощенные эмпирические способы, основанные на использовании только данных стандартных сетевых наблюдений за температурой и влажностью воздуха, облачностью, осадками и ветром. С некоторыми изменениями и дополнениями, они используются в модели формирования и таяния снежного покрова, разработанной Институтом водных проблем РАН [2, 15]. При расчете снеготаяния выделяются его радиационная и адвективная составляющие, и учитывается испарение со снежного покрова.

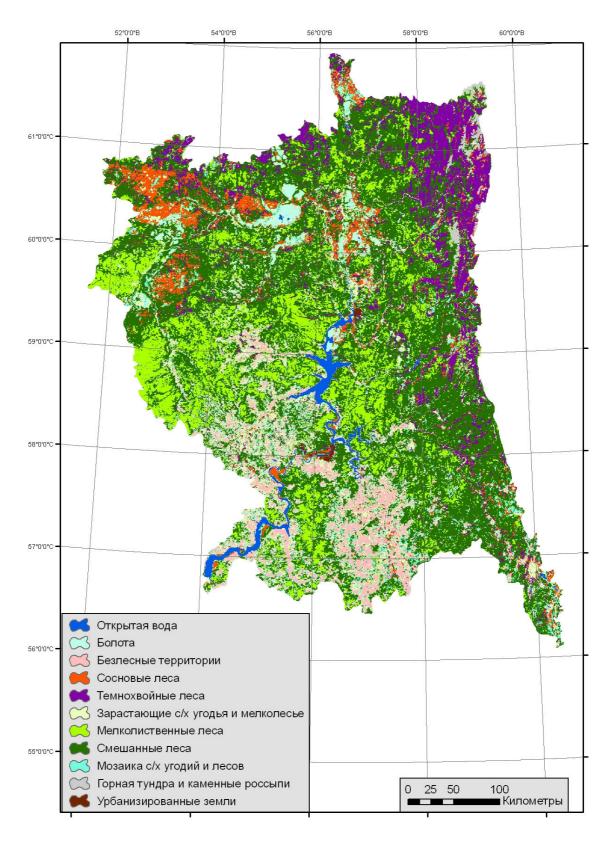


Рис. 1. Карта типизации растительного покрова на водосборе Воткинского вдхр., используемая при моделировании формирования и таяния снежного покрова

Уравнение теплового баланса снежного покрова, без учета его второстепенных составляющих, записывается следующим образом:

$$W = W_P + W_K + W_M \tag{1}$$

где  $W_P$  - радиационный баланс,  $W_K$  - турбулентный поток тепла,  $W_M$  - поток тепла на испарение снега.

**Радиационная составляющая снеготаяния**  $(M_R)$  рассчитывается следующим образом:

$$M_R = Q_{sw} - Q_{ls} + Q_{lw} \tag{2}$$

Где  $Q_{sw}$  – баланс коротковолновой радиации,  $Q_{ls}$  –эффективное излучение снега,  $Q_{lw}$  – встречное излучение атмосферы. Составляющие радиационного баланса определяются по формулам (3-5)

$$Q_{sw} = 0.125(Q + q)(1 - R)(1 - 0.2N_o - 0.47N_n) - Q_{ls} + Q_{lw}$$
(3)

$$Q_{ls} = k(\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_0^4) \tag{4}$$

$$Q_{lw} = k(\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_0^4)(0.62 + 0.05(E_{200})^{0.5})(1 + 0.12 N_o + 0.12 N_n)$$
 (5)

Где Q+q — суточная сумма прямой и рассеянной радиации (без учета облачности), R — альбедо снежного покрова,  $N_o$  и  $N_n$  — общая и нижняя облачность в %,  $T_0$  — абсолютная температура воздуха,  $E_{200}$  — парциальное давление водяного пара на высоте 2 м,  $\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана (8.16·10<sup>-11</sup> кал/(см²-мин·K4)),  $\varepsilon$  - относительная излучательная способность снега в тепловом диапазоне, которая принимается равной 0,99 [5].

Адвективная составляющая снеготаяния определяется турбулентным теплобменом снежного покрова с атмосферой, и притоком тепла вследствие конденсации водяного пара на поверхности снега:

$$M_a = k(1 + 0.544 \cdot U_{10})(\theta_2 - \theta_0 + 1.75(E_2 - E_0)), \tag{6}$$

Где  $U_{10}$  – скорость ветра на высоте 10 метров,  $\theta_2$  и  $E_2$  – температура воздуха и парциальное давление водяного пара на высоте 2 м,  $\theta_0$  – температура поверхности снежного покрова,  $E_0$  - максимальная упругость водяного пара по температуре поверхности снега.

Коэффициент k перед формулой (6) зависит от временного шага модели, при расчете с шагом 12 ч. он принимается равным 0,434.

*Испарение с поверхности снежного покрова* вычисляется по формуле П.П. Кузьмина [5]:

$$E = 0.18 + 0.098 \cdot U_{10}(E_2 - E_0) \tag{7}$$

При расчете интенсивности снеготаяния по формулам (1-7), возможны существенные ошибки (до 10 мм/сутки), связанные с низкой точностью оценки радиационного теплообмена по данным стандартной сети наблюдений. В связи с этим, Е.Г. Поповым предложены эмпирические формулы, связывающие радиационную и адвективную составляющие снеготаяния с суточным ходом температуры воздуха [7].

Для дневной части суток:

$$H_d = k(T_{max} - T_{mean}) - 1.4 \cdot (T_{mean} - T_{min}) + 0.65 \cdot U_{10} (T_d - 0.5)$$
(8)

Для ночной части суток:

$$H_n = 0.65 \cdot U_{10} (T_n - 0.5) - 1.4 \cdot (T_{mean} - T_{min})$$
(9)

Здесь  $H_d$  и  $H_n$ ,  $T_d$  и  $T_n$  — соответственно интенсивность снеготаяния и температура воздуха за дневные и ночные часы,  $U_{10}$  — скорость ветра на высоте 10 м,  $T_{mean}$ ,  $T_{max}$  и  $T_{min}$  — средняя, максимальная и минимальная температура воздуха; k — коэффициент, зависящий от альбедо снега.

Формулы (8-9) применяются обычно для расчета снеготаяния только на открытой местности. Их использование невозможно в дни с аномальным чуточным ходом температуры воздуха. И самое главное, они не снимают неопределенности, связанной с оценкой альбедо снежного покрова. Тем не менее, данная методика широко применяется на практике.

Сложность восстановления полей суммарной радиации, альбедо, влажности, скорости ветра на реальных водосборах (особенно на залесенных участках), приводит к тому, что на практике широко применяется расчет интенсивности снеготаяния по среднесуточной температуре воздуха. Коэффициенты стаивания назначаются переменными для разных типов подстилающей поверхности, и определяются путем калибровки. Принятые при расчетах значения коэффициентов стаивания приведены в таблице 1.

Выбор того или иного метода для расчета снеготаяния определяется имеющимися исходными данными, изученностью водосбора, плотностью и репрезентативностью сети наблюдений. Одной из основных проблем при моделировании является корректное восстановление входных полей метеоэлементов, с учетом их пространственной неоднородности, обусловленной особенностями рельефа и растительного покрова.

#### Методы восстановления полей метеоэлементов на водосборах рек

Восстановление входных полей метеоэлементов за каждый день периода снеготаяния выполнялось средствами ГИС-технологий, с применением методов интерполяции и растровой алгебры. Используемые в ГИС «стандартные» методы интерполяции (метод обратно взвешенных расстояний, радиальные базисные функции, различные виды кригинга), при работе с данными метеонаблюдений обычно дают некорректные результаты. Это обусловлено невыполнением критерия r << l, (где r — расстояние между точками наблюдений, l — расстояние, на котором исследуемая величина претерпевает существенные изменения вследствие влияния характера подстилающей поверхности) [13].

Таблица 1. Принятые значения температурных коэффициентов стаивания и поправочных коэффициентов для расчета снегонакопления

bo mbix Rospondhenrob Am pac lera eneronakonmenna								
Тип подстилающей по-	Коэффициент стаивания, мм/1°	Поправочный коэффициент						
верхности	положительной среднесуточной	для расчета запаса воды в						
	температуры воздуха	снежном покрове						
Темнохвойные леса	1,5	0,87						
Сосновые леса	2	0,9						
Смешанные леса	2	1,13						
Мелколиственные леса	2,5	1,2						
Верховые болота	4	1						
Городская территория	5	0,85						
Водохранилища	4,5	0,9						
Сельхозугодья	4,5	1						
Мозаика с/х угодий и	4	1						
лесов								

В качестве решения данной проблемы, нами использован подход, предложенный в работах В.А Шутова [11-12] и С.Г. Яковченко [13]. Он состоит в совмещении возможностей стандартных методов интерполяции с принятой в гидрологии «моделирующей» интерполяцией, позволяющей учесть влияние рельефа и растительного покрова. Для этого используются известные эмпирические или модельные зависимости исследуемых величин от высоты местности и типов растительного покрова. Из стандартных методов интерполяции, наиболее подходящим для работы с данными метеонаблюдений, является метод Spline Tension, который позволяет создавать сглаженные поверхности с минимальным количеством артефактов. Ниже рассмотрены методы восстановления полей метеоэлементов, использованные при моделировании процесса снеготаяния.

Расчет *потенциально возможной суммарной солнечной радиации* (по цифровой модели рельефа и широте местности), является стандартной функцией многих ГИС. Для решения этой задачи нами использована ГИС SAGA (System for Automatized Geoscientific Analysis). Поправки на облачность были ведены по формуле (3). Общая и нижняя облачность интерполировалась по данным сети метеостанций.

**Альбедо снежного покрова** вычислялось по эмпирической формуле, предложенной авторами гидрологической модели DHVSM [16].

$$R = 0.9 \left(\lambda\right)^{\frac{N}{N-0.5}} \tag{10}$$

 $\Gamma$ де 0,9 — альбедо свежевыпавшего снега,  $\lambda$  — параметр, принимаемый равным 0,85.

Альбедо снега является весьма изменчивой величиной, и достоверность его оценки при отсутствии инструментальных наблюдений в значительной мере определяет точность расчета интенсивности снеготаяния.

Поле температуры воздуха восстанавливалось на основе данных наблюдений 34-х метеостанций (расположенных как в пределах исследуемого водосбора, так и за его границами), с учетом вертикального градиента температуры. Значения вертикального градиента интерполировались по данным радиозондирования атмосферы на 6-ти станциях: Пермь, Ивдель, Сыктывкар, Верхнее Дуброво, Уфа, Киров. Альтернативным вариантом является вычисление вертикального градиента температуры на основе выходных данных глобальной численной модели прогноза погоды GFS/NCEP, (с пространственным разрешением 0,5° и временным разрешением 6 ч).

Поле влажности воздуха (парциального давления водяного пара), имеет меньшую связность, чем поле температуры. Для его восстановления использовалась следующая методика: влажность воздуха интерполировалась по данным метеостанций, на основе данных модели GFS/NCEP определялась влажность на изобарической поверхности 900 гПа. Далее восстанавливалось поле влажности воздуха с учетом ее вертикального градиента.

*Поле скорости ветра* восстанавливалось по данным модели GFS/NCEP, и далее корректировалось с учетом рельефа местности и типов растительного

покрова. Для коррекции на высоту местности использована эмпирическая зависимость скорости ветра от высоты, в которой коэффициент К принимается равным 0,25:

$$V_1 = V_0 (H_1 / H_0)^k, (11)$$

где  $H_1$  – высота местности,  $H_0$  – высота ближайшей метеостанции,  $V_0$  – скорость ветра на метеостанции.

Чтобы учесть снижение скорости ветра в лесу, были введены специальные поправочные коэффициенты: для темнохвойного леса -0.15; для смешанного леса 0.2; для мелколиственного леса 0.25. Аналогичные значения коэффициентов приведены в работе [4].

**Температура поверхности снежного покрова**  $\theta_0 = 0^\circ$ , если температура воздуха  $\theta_2 \ge 0$ . Если  $\theta_2 < 0^\circ$ , то  $\theta_0 = \theta_2$ .

Максимальная упругость водяного пара по температуре поверхности снега  $E_0 = 6{,}11~\mathrm{г\Pi a},\,\mathrm{если}~\theta_2{\geq}0.$  Если  $\theta_2{<}0,\,\mathrm{то}~E_2 = E_0.$ 

Восстановление полей *максимальных запасов воды в снежном покрове* и *осадков в период снеготавния* представляет наибольшую сложность, ввиду высокой степени их пространственной изменчивости. При оценке максимальных снегозапасов были использованы и сопоставлены три метода:

Оценка максимального снегозапаса по данным маршрутных снегомерных съемок. Сеть снегомерных маршрутов на исследуемой территории включает более 50 метеостанций и гидропостов. На 16-18 из них снегомерные съемки выполняются как в лесу, так и в поле, на остальных — только в лесу, или только в поле. Интерполяция снегозапаса по данным снегомерных съемок выполнялась по методу, предложенному В.А. Шутовым [11-12], раздельно для леса и поля, с учетом зависимостей снегозапасов от высоты местности, и от типа растительного покрова. Изменчивость снегозапасов, связанная с перераспределением снега на мезо- и микрорельефе, метелевым переносом, учитывается косвенно, по кривой распределения снегозапасов. Поле снегозапасов, восстановленное по данным снегосъемок, характеризуется относительно низкой связностью и, в отдельных случаях, содержит явные ошибки.

Значительное влияние на величину снегозапасов на Западном Урале оказывает барьерный эффект, который проявляется в увеличении сумм зимних осадков на наветренных склонах хребтов и в предгорьях Урала. Влияние рельефа Урала на распределение осадков рассматривается в работах [1, 3, 9]. Установлено, что в зимний период существует статистически значимая зависимость между высотой местности и суммой осадков, а величина вертикального градиента осадков составляет 10-14%/100 м высоты. При интерполяции снегозапасов вертикальный градиент принимался равным 15%/100 м в нижних высотных зонах, и 10%/100 м в горах. Определение истинного вертикального градиента сумм зимних осадков осложняется отсутствием метеонаблюдений в горах, на высоте более 500 м.

При отсутствии данных снегомерных съемок, выполнялось *восстанов- ление поля снегозапасов по данным об осадках холодного периода*. При этом учтены значительные различия в продолжительности периода снегона-

копления между равнинными и горными районами исследуемой территории. Поле снегозапасов, полученное по данным наблюдений за осадками, характеризуется хорошей связностью, но в районах с низкой плотностью сети наблюдений возможны значительные ошибки.

В период устойчивого снегонакопления накопленный снегозапас может быть принят приближенно равным сумме осадков, поскольку испарение снежного покрова и выдувание осадков из осадкомера частично компенсируют друг друга. Введение поправок на ветровой недоучет и испарение для зимних осадков, рекомендованных в Справочнике по климату [9], в условиях Пермского края приводит к значительному завышению снегозапаса. В первом приближении, запас воды в снежном покрове за период устойчивого снегонакопления восстанавливался путем интерполяции накопленных осадков по методу В.А. Шутова, с введением поправок на высоту местности, и тип подстилающей поверхности. Введение дополнительной поправки на уклон и экспозицию макросклонов не приводит к существенному улучшению результатов.

Для периода осеннего неустойчивого снегонакопления, продолжительность которого на Урале достигает 30-40 суток, типично монотонное увеличение снегозапаса в горах и на возвышенностях, а на равнинной территории – неоднократное установление и сход снежного покрова. В связи с этим, возникает необходимость определения фазы выпадающих осадков, и учета снеготаяния при оттепелях. Для определения фазы осадков использовано уравнение

$$N = -0.179T_p - 0.034T_{925} - 0.078T_{850} + 0.372, (12)$$

где N — доля осадков, выпавших в твердом виде,  $T_p$  — приземная температура воздуха,  $T_{925}$  и  $T_{850}$  — температура на изобарических поверхностях 925 и 850 г $\Pi a$  соответственно.

Третьим использованным методом восстановления запаса воды в снеге является моделирование накопления снежного покрова на основе прогноза осадков по мезомасштабной модели прогноза погоды WRF/ARW. Данный метод применялся только для зимнего сезона 2012-2013 гг. Результаты счета модели были предоставлены доцентом кафедры метеорологии и охраны атмосферы ПГНИУ Е.М. Свиязовым. Прогнозы по модели WRF составлялись с использованием динамического ядра ARW на срок 48 ч. В качестве начальных и граничных условий использовался прогноз GFS/NCEP. Расчет производился для полигона 2000 на 2000 км, с шагом интегрирования по пространству 10 км. Прогнозные поля твердых и жидких осадков конвертировались в формат ГИС.

Модель WRF/ARW в большинстве случаев удовлетворительно воспроизводит поля неконвективных осадков, а также их фазу, поэтому ее прогнозы могут быть использованы при расчете снегонакопления [10].

Моделирование накопления снежного покрова на основе прогнозов модели WRF/ARW выполнялось раздельно за период устойчивого и неустойчивого снегонакопления. В период неустойчивого снегонакопления, запас воды

в снеге рассчитывался с учетом снеготаяния при оттепелях (определяемого по среднесуточной температуре воздуха). В период устойчивого снегонакопления, прирост запаса воды в снеге принимался равным сумме выпавших осадков. Также были введены поправки в зависимости от типа растительного покрова (значения которых приведены в табл. 2). На рис. 2. приведена карта максимальных запасов воды в снежном покрове за 2013 г., полученная с использованием данных модели WRF.

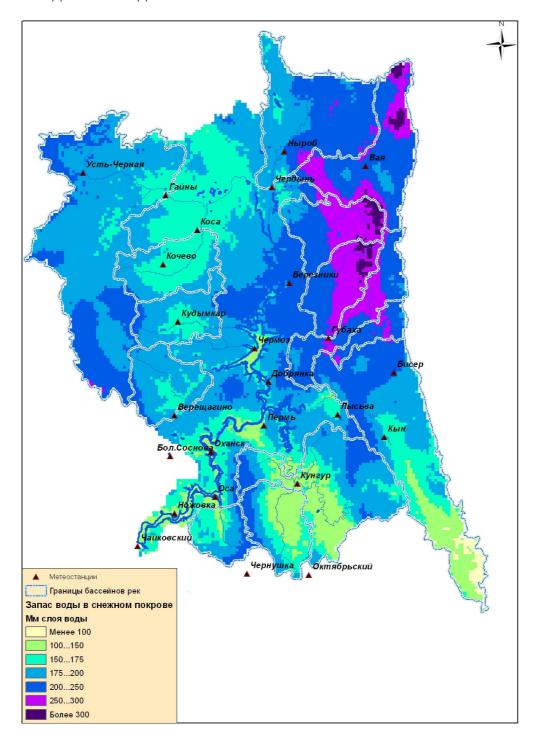


Рис. 2. Расчетный максимальный запас воды в снежном покрове на водосборе Воткинского вдхр. в 2013 г.

Использование прогнозных данных модели WRF/ARW позволяет описать процесс снегонакопления в зимний период со сравнительно высокой достоверностью. В переходные сезоны, при интенсивных оттепелях, величина отклонений расчетного снегозапаса от фактического резко возрастает (рис. 3). В этот же период наблюдается существенное снижение надежности данных снегомерных съемок.

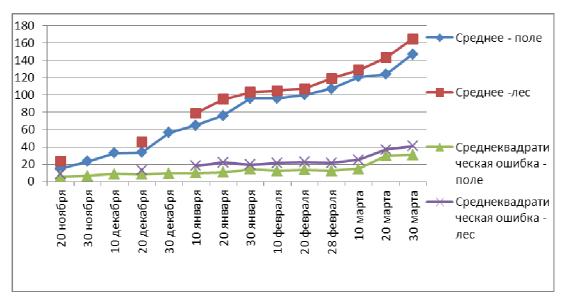


Рис. 3. Динамика среднего (по пунктам снегомерных съемок) расчетного снегозапаса, и ошибки его расчета на основе модели WRF (в мм слоя воды)

В целом можно сделать вывод, что восстановление запаса воды в снежном покрове с использованием прогнозных данных модели WRF является более надежным методом, чем восстановление по данным снегомерных съемок, или накопленных осадков холодного периода.

Оптимальным инструментом для восстановления полей осадков в период снеготаяния также является мезомасштабная модель WRF. Модель удовлетворительно воспроизводит количество и фазу осадков, выпадающих в период снеготаяния, позволяет учесть увеличение сумм осадков на наветренных склонах гор, связанное с барьерным эффектом, и уменьшение в меридионально ориентированных межгорных понижениях (эффект барьерной тени). Более подробно данный вопрос рассмотрен в статье [10]. При отсутствии модельных данных, поле осадков восстанавливалось интерполяцией данных с метеостанций, с учетом высотного градиента, равного 10%/100 м высоты. Фаза осадков определяется по формуле (12).

#### Расчет водоотдачи снежного покрова

Вычисленные величины интенсивности снеготаяния и испарения суммировались за суточные интервалы времени. Дальнейший расчет площади заснеженности, водоотдачи и остаточного снегозапаса, выполнялся с суточным шагом.

Площадь снежного покрова определялась по методу А.Г. Ковзеля, на основе модульных коэффициентов и кривых распределения снегозапаса. Параметры кривых распределения для лесной и безлесной части территории

получены из работы [6]. Для озер и водохранилищ было задано равномерное распределение снегозапаса.

Водоотдача снежного покрова рассчитывалась по известной методике, с учетом водоудерживающей способности снега, которая принимается равной для леса -20%, для поля -15%. Также учитывалось снижение влагоемкости снега за счет выпадения жидких осадков. Более подробно использованная методика расчета водоотдачи рассмотрена в работе [8].

Поступление талых вод на водосбор складывается из водоотдачи снежного покрова, и выпадающих на водосбор твердых и жидких осадков. В период снеготаяния на Урале неоднократно формируется временный снежный покров (чаще в горной части территории). При расчете поступления на водосборы жидких осадков использованы следующие допущения:

- до начала водоотдачи осадки аккумулируются в снежном покрове;
- после начала водоотдачи жидкие осадки складываются с водоотдачей снежного покрова;
- временный снежный покров образуется в случае, если интенсивность снеготаяния меньше суммы осадков в виде снега;
- поступление воды на водосбор складывается из водоотдачи снежного покрова и жидких осадков.

Для автоматизации расчета интенсивности снеготаяния и водоотдачи снежного покрова разработан программный модуль (расширение AddIn ArcGis 10.1) на языке C++.

Пример результатов расчета снеготаяния по методу П.П. Кузьмина за 2013 г. показан на рис. 4.

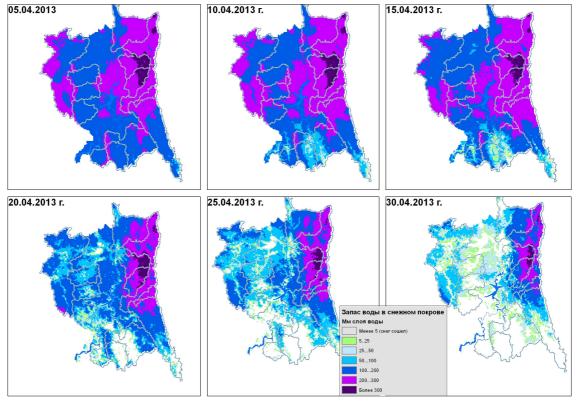


Рис. 4. Динамика процесса снеготаяния в 2013 г. на водосборе Воткинского водохранилища

#### Валидация результатов моделирования снеготаяния

Выходными данными модели являются площадь снежного покрова, запас воды в снеге и водоотдача снежного покрова. Это предполагает использование двух способов валидации результатов:

- Сопоставление фактической и расчетной площади заснеженности на основе данных ДЗЗ со спутников Terra, Aqua, LANDSAT 5/7/8, SPOT-4;
- Сопоставление расчетного запаса воды в снеге с фактическим (определенным на основе снегомерных съемок);

**Валидация результатов расчета** по данным ДЗЗ выполнена на двух масштабных уровнях:

По всей исследуемой территории — на основе данных Terra/Aqua MODIS, принимаемых на станцию УниСкан-24. Дешифрирование снежного покрова по данным MODIS основано на расчете нормализованного дифференциального снежного индекса NDSI, который представляет собой отношение разности и суммы яркостей в 4 и 6 каналах снимка (555 нм и 1640 нм соответственно). При этом учитывается маска облачности, поскольку облака, как и снег, хорошо отражают излучение в видимой части спектра и поглощают в инфракрасной. Пространственное разрешение масок снежного покрова — 1000 м.

Оценка распределения снежного покрова на уровне отдельных речных бассейнов выполнена по снимкам LANDSAT, SPOT-4. Дешифрирование снежного покрова выполняется на основе синтеза ближнего ИК, среднего ИК и красного каналов, который позволяет отделить снег от облачности, или на основе индекса NDSI.

В большинстве случаев, получено хорошее совпадение фактической и расчетной заснеженности территории, как в равнинных, так и в горных районах с редкой сетью снегомерных наблюдений (рис. 5, 6, табл. 4). Это указывает на объективность используемых при расчете оценок зависимостей максимального снегозапаса и других входных параметров от высоты местности и типов растительного покрова.

Валидация результатов моделирования по данным снегомерных съемок выполнена за 2010 – 2012 гг. (расчет снеготаяния проводился по методу Е.Г. Попова). Использованы данные с 44 пунктов снегомерных наблюдений. При сопоставлении расчетного и фактического запаса воды в снежном покрове необходимо иметь в виду следующие особенности данных маршрутной снегомерной съемки:

- снегомерный маршрут может проходить на удалении до 3 км от пункта наблюдений;
- точные координаты и данные о ландшафтных характеристиках большинства снегомерных маршрутов отсутствуют;
- запас воды в снеге на маршруте в некоторых случаях определяется влиянием мезорельефа, особенно в горных и предгорных территориях;
- используемый при вычислениях размер ячейки (3000 м) не позволяет определить снегозапас непосредственно для локального участка снегомерных съемок.

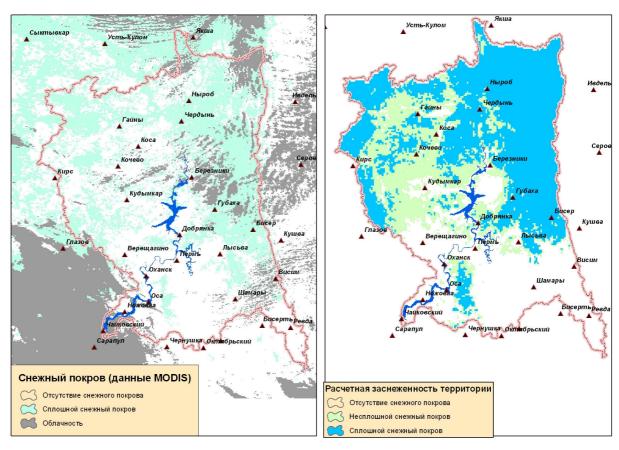


Рис. 5. Сопоставление расчетной и фактической заснеженности на равнинной территории (данные за 21.04.2013 г.)

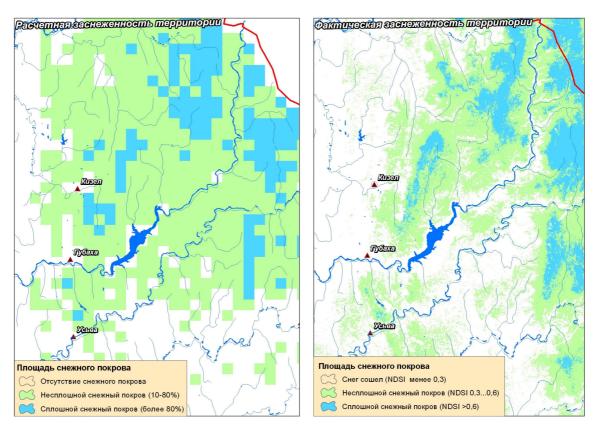


Рис. 6. Сопоставление фактической и расчетной заснеженности на водосборах р. Усьва, Косьва (данные за 09.05.2011 г.)

Таблица 3 Сопоставление фактической и расчетной площади заснеженности весной 2011 г.

Дата		16.04.11	17.04.11	27.04.11	28.04.11	01.05.11	05.05.11
Площадь, свободная							
от облачности,							
тыс.кв.км		38	68,5	106,2	46,3	96,4	183,6
Площадь	Факт	74,0%	80,7%	37,0%	60,0%	41,0%	10,0%
сплошного							
снежного							
покрова	Расчет	83,0%	91,0%	50,0%	59,0%	45,0%	7,4%

Таблица 4 Среднеквадратические ошибки результатов расчета запаса воды в снежном покрове (мм)

2011 г.			2012 г.			2013 г.		
Лес	Поле	Среднее (для	Лес	Поле	Среднее (для	Лес	Поле	Среднее (для
		станций с дву-			станций с			станций с
		мя маршрута-			двумя мар-			двумя мар-
		ми)			шрутами)			шрутами)
43,5	27	33,3	28	27,8	26,4	47	57,1	41,9

В связи с этим, сопоставлению с данными снегомерных съемок подвергались значения расчетного снегозапаса, осредненные в радиусе 3000 м от метеостанции. Сравнение фактических и расчетных запасов воды в снежном покрове выполнено раздельно для полевых, лесных снегомерных маршрутов, и для пунктов, в которых снегомерные съемки проводятся как в лесу, так и в поле. Достоверность результатов расчета оценивалась по величинам среднеквадратических ошибок, которые приведены в табл. 3. Для определения характера расхождений, оценивалось распределение абсолютных ошибок расчетного запаса воды в снежном покрове (рис. 7).

Основными причинами отклонений расчетного снегозапаса от фактического являются:

- недооценка водоудерживающей способности снега;
- ошибки при оценке максимального накопленного снегозапаса;
- нерепрезентативность снегомерного маршрута в сравнении с окружающей территорией (типичная для водосборов горных рек);
- ошибки в снегомерных наблюдениях на гидропостах.

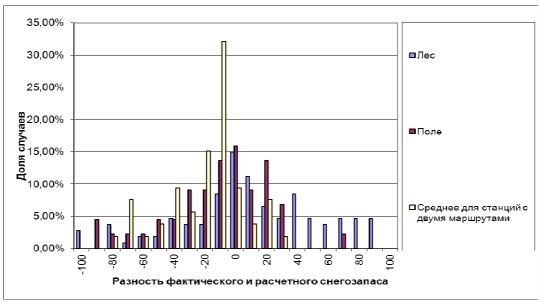


Рис. 7. Распределение ошибок расчетного запаса воды в снежном покрове в 2013 г.

#### Сопоставление различных методов расчета интенсивности снеготаяния

Расчеты снеготаяния за 2012 и 2013 гг. выполнены с использованием двух методов – метода П.П. Кузьмина, и расчета по среднесуточной температуре воздуха.

На рис. 8 и 9, приведено сопоставление запаса воды в снежном покрове, рассчитанных с использованием двух разных методов (осредненного по водосборам рек). Результаты расчета по методу П.П. Кузьмина за 2012 г. характеризуются систематическим завышением интенсивности снеготаяния. В наибольшей степени оно проявляется в начале второй декады апреля. С учетом того, что результаты расчета по среднесуточной температуре воздуха также характеризуются некоторым завышением интенсивности снеготаяния, ошибки расчета по методу П.П. Кузьмина оказываются весьма значительными. Сопоставление результатов расчета с данными ДЗЗ также указывает на завышение интенсивности снеготаяния.

Результаты расчета за 2013 г. по методу П.П. Кузьмина, напротив, характеризуются занижением интенсивности снеготаяния (в большей степени оно проявляется на водосборах, покрытых лесом). Это подтверждается и по результатам сопоставления расчетной заснеженности с данными ДЗЗ.

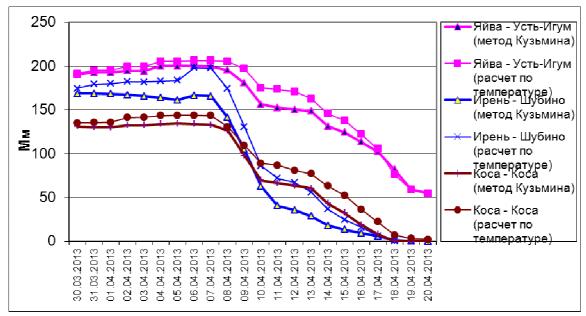


Рис. 8. Сопоставление динамики снегозапасов, рассчитанной по методу П.П. Кузьмина, и по среднесуточной температуре воздуха (2012 год)

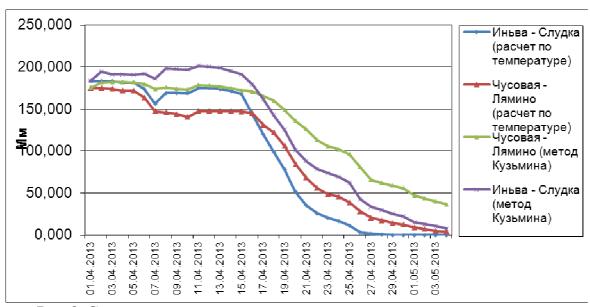


Рис. 9. Сопоставление динамики снегозапасов, рассчитанной по методу П.П. Кузьмина и по среднесуточной температуре воздуха (2013 год)

Таким образом, метод П.П. Кузьмина, имеющий ряд преимуществ (физическая обоснованность, разделение адвективной и радиационной составляющих снеготаяния) не всегда обеспечивает получение более достоверных результатов, чем расчет по среднесуточной температуре воздуха. Причинами этого являются сложность оценки большого числа входных параметров, прежде всего влажности воздуха, скорости ветра, суммарной радиации и альбедо, с учетом влияния факторов подстилающей поверхности.

Причинами систематического завышения интенсивности снеготаяния, рассчитанной по методу П.П. Кузьмина за 2012 г., является переоценка адвективной составляющей снеготаяния в ночные часы, в условиях аномально

высоких ночных температур воздуха ( $+7....+11^{\circ}$ ) и влагосодержания (температура точки росы  $+5...+8^{\circ}$ ).

Систематическое занижение интенсивности снеготаяния наблюдалась в отдельные дни апреля 2013 г., на фоне высокой максимальной температуры (до  $15^{\circ}$ ) и низкой влажности (точка росы  $-3^{\circ}...-5^{\circ}$ ).

#### Библиографический список

- 1. Береснева Н.А. Влияние возвышенностей равнины на осадки и влагооборот / Н.А. Береснева, Л.И. Данилова // Труды ГГО, вып. 45, 1954.
- 2. Гельфан А.Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. Дисс. на соиск. ученой степени д-ра физ-мат. наук, спец. 25.00.27. М., 2007, 351 с.
- 3. Калинин Н.А. Исследование влияния рельефа Пермского края на распределение полей осадков / Н.А. Калинин, Л.В. Фрик, А.А. Смирнова // Географический вестник, 2008, № 2, С. 187-195.
- 4. Корень В.И. Математические модели в прогнозах речного стока. Л., Гидрометеоиздат, 1991. 199 с.
- 5. Кузьмин П.П. Процесс таяния снежного покрова. Л., Гидрометеоиздат, 1961.346 с.
- 6. Лебедева Н.Д. Методика краткосрочного прогноза гидрографа притока воды к водохранилищу Камской ГЭС // Труды ЦИП. М. Гидрометеоиздат, 1963. Вып. 130. С. 87-125.
- 7. Попов Е.Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. Л., Гидрометеоиздат. 1963. 394 с.
- 8. Пьянков С.В. Комплексный подход в исследовании динамики процессов снеготаяния на водосборах рек / С.В. Пьянков, Ю.Н. Шавнина, А.Н. Шихов // Вестник Удмуртского Университета, сер. 6. Биология, Науки о Земле, 2012, №4. С. 136-145.
- 9. Справочник по климату СССР. Вып. 9. Пермская, Свердловская, Челябинская, Курганская области и Башкирская АССР. Ч.4. Влажность воздуха, атмосферные осадки и снежный покров. Л., Гидрометеоиздат, 1968. 372 с.
- 10. Шихов А.Н. Прогнозирование динамики процесса снеготаяния на Западном Урале с применением мезомасштабной модели WRF/ARW / А.Н. Шихов, Е.М. Свиязов // Современные проблемы науки и образования. 2013.  $N_2$  4; URL: www.science-education.ru/110-9962 (дата обращения: 30.08.2013)
- 11. Шутов В.А. Методы анализа пространственной изменчивости снегозапасов // Известия РАН, серия Географическая. 1998. №1. С. 122-132.
- 12. Шутов В.А., Калюжный И.Л. Анализ пространственного распределения зимних осадков и снегозапасов в бассейне р. Белой / В.А. Шутов, И.Л. Калюжный // Метеорология и гидрология, 1997. № 1. С. 105—114.

- 13. Яковченко С.Г. Создание геоинформационных систем в инженерной гидрологии: дисс. на соиск. ученой степени доктора техн. наук: 25.00.35. Барнаул, 2007. 406 с.
- 14. Bontemps S., Defourny P. and Van Bogaert E. GLOBCOVER 2009: Products Description and Validation Report. ESA, 2010. URL: http://globcover.s3.amazonaws.com/LandCover2009/GLOBCOVER2009\_Validation\_Report\_1.0.pdf (дата обращения 10.12.2012)
- 15. Kuchment L.S. Use of satellite-derived data for characterization of snow cover and simulation of snowmelt runoff through a distributed physically based model of runoff generation / L. Kuchment, P. Romanov, A. Gelfan, V. Demidov // Hydrology and Earth system science, 2010, vol. 14, PP 339-350.
- 16. Wigmosta, M.S., Nijssen B, and Storck P. The Distributed Hydrology Soil Vegetation Model // Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications, 2002, PP 7 42.

#### Тематическая обработка космических снимков территорий захоронения ТБО с использованием программного продукта ScanEx Image Processor

Г. М. Батракова, О. В.Ивенских, Р. Д. Гарифзянов Пермский национальный исследовательский политехнический университет

В настоящее время для задач территориального планирования и управления актуально использование геоинформационных технологий и современных способов представления пространственно-распределённых данных. В масштабах территорий регионов и муниципальных образований для решения проблем, связанных с увеличением площадей для размещения отходов производства и потребления, перспективным является использование дешифрованных космических снимков.

Обеспечение требований безопасности при размещении отходов в окружающей среде является актуальной задачей в сфере обращения с отходами. В государственном реестре объектов размещения отходов в Пермском крае зарегистрировано более 100 объектов размещения отходов.

Твердые бытовые отходы (ТБО), вывозимые с территории г. Перми и Пермского края, размещаются на нескольких полигонах: полигон «Софроны» (г. Пермь, улица Окраинная, 3А), полигон ЗАТО Звёздный (Пермский край, ЗАТО Звёздный, ул.Промышленная,9), полигон ООО «Буматика» (Пермский край, Краснокамский район). В приближении к существующей границе селитебных территорий города имеются выведенные из эксплуатации свалки захоронения отходов – объекты «Голый мыс» и «Страшная гора». Все перечисленные объекты были рассмотрены для выявления общих характеристик мест размещения ТБО и формирования алгоритма идентификации подобных объектов при дешифрировании космических снимков.

Результаты исследований российского инженерно-технологического центра «СканЭкс», российской компании «Совзонд», геоинновационного агентства «Иннотер» (Украина) и др. показывают, обработка результатов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяет *определять* преобладающий тип размещенных отходов для оценки опасности несанкционированных объектов, *решать задачи* по оценке установления площади захоронений и их удаленности от селитебных территорий (водных объектов, охраняемых территорий и т.п.), *прогнозировать* распространение шлейфов дыма при крупных пожарах и др. [7]. Тематическая обработка космических снимков (по спектральным характеристикам) позволяет получать изображение с выделением мест, предположительно занятых свалками, уточнять площадь нарушенных земель, оценивать состояние почвенного покрова и растительности и использовать эту информацию для определения эффективности процессов рекультивации закрытых объектов.

Для объектов захоронения отходов вблизи в Пермском и Краснокамском районах были использованы разновременные снимки, полученные со спут-

ника SPOT – 5, с пространственным разрешением 1 м в панхроматическом режиме. Дешифрирование выполнено с помощью программного продукта ScanEx IMAGE Processor и применения неконтролируемой классификации ISODATA для автоматического разделения данных изображения и группирования точек по кластерам (классам). Классификация ISODATA основана на анализе яркостных характеристик пикселей космических снимков. Алгоритм ISODATA использует минимальное спектральное расстояние, для присвоения соответствующего кластера для каждого пиксела.

К космическим снимкам по всей захваченной территории применены три алгоритма классификации ISODATA:

- метод сканирования пикселей площадей, занятых свалками или полигонами захоронения ТБО;
- метод оценки совпадения яркостных характеристик всех исследуемых объектов между собой;
- метод сканирования пикселей классов с наибольшими процентными показателями.

Метод сканирования пикселей площади действующих и рекультивированных объектов представлен на рис.1. Использованный метод, к сожалению, дает высокий процент объектов со схожими спектральными характеристиками, одинаковыми как для территорий размещения отходов, так и для городской застройки, улично-дорожной сети, лесных массивов и др. Светлые спектры, выделяющиеся при классификации по площади свалок и полигонов, идентичны ярким спектрам кровли крыш, оголенных земель, в том числе сельскохозяйственных полей. На рис. 2. спектральный класс «отходы» выделен желтым цветом. Площадь данного класса, от всей площади снимка составил (с учетом всех помех в виде застроек, дорог и др.) 54341764.6682 м2. или 1,37% от территорий, охваченных снимком, что существенно превышает теоретический процент занимаемой отходами, который составляет 0,08-0,09%.

Учитывая все объекты, имеющие идентичные спектральные характеристики с крупными площадками размещения отходов, необходима разработка признаков, отличающих полигоны и свалки от объектов с подобными характеристиками спектров. Дополнительными признаками могут быть:

- значения параметров площади, занимаемых для захоронения отходов. По этому признаку можно удалить при обработке площади селитебных территорий, представляющих собой скопление малых по площади объектов;
- задание минимального расстояния между пикселями на снимках в телах полигонов. Для этого необходимо выявить среднее значение минимального расстояния между пикселями в телах исследуемых полигонов;
- характерные текстурные характеристики поверхности, на которой размещаются отходы;
- градиент температуры площадного объекта, что может быть признаком разогревания тела полигона (свалки) по причине самовозгорания массива отходов.



Рис.1. Блок- схема классификации ISODATA космического снимка методом сканирования пикселей

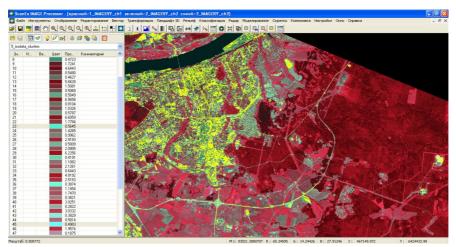


Рис.2. Общий вид снимка после классификация ISODATA методом сканирования пикселей тел полигонов

Метод оценки совпадения яркостных характеристик всех исследуемых объектов между собой позволяет выявить для дальнейшего изучения те объекты исследований, которые являются наиболее показательными по набору классов. Следовательно, из всего перечня рассматриваемых мест размещения отходов можно выделить совокупность тех объектов, которые в дальнейших исследованиях будут являться эталонными или быть объектами обучения программы. На рис.4. показаны полигон ТБО «Буматика» и полигон ТБО «Софроны» после проведения данной классификации.

Блок-схема алгоритма классификации для растра с выделенными объектами исследования представлен на рис.3. По результатам исследований выявлено, что совокупность яркостных классов трех исследуемых объектов, которые являются крупнейшими действующими полигонами ТБО в Пермском крае, представляют собой полноценный набор яркостных классов, характерных для площадей размещения отходов по всей территории снимка.



Рис.3. Блок- схема классификации ISODATA космического снимка для растра с выделенными объектами исследований



Рис.4. Полигон ТБО «Буматика» (слева) и полигон ТБО «Софроны» (справа)

Недостатком данного метода является необходимость подготовительного этапа с уточнением расположения на космических снимках всех возможно

существующих объектов размещения отходов на исследуемой территории. Кроме того, необходимо создание нового растрового слоя с сегментацией контура каждого объекта.

Метод сканирования пикселей классов с наибольшими процентными показателями показал наилучшие результаты дешифрирования для задач идентификации мет размещения отходов. В связи с тем, что большая часть снимка занята известными объектами категории городской застройки, а также растительностью (лес), они имеют высокий процентный показатель при составлении легенды, ранжирование легенды позволяет выделить все высокопроцентные по площади к снимку объекты. В результате невыделенными остаются те яркостные классы, которые имеют малый процент содержания на снимке, в том числе полигоны и свалки для размещения ТБО.

На рис. 5. представлена блок-схема алгоритма классификации ISODATA космического снимка методом сканирования пикселей классов, с наибольшими процентными показателями. На рис. 6. желтым цветом выделены территории, занимающие наибольший процент при ранжировании легенды. При этом на снимке хорошо различим полигон ТБО «Софроны».

Достоинством метода является и то, что он может применяться в тех случаях, когда заранее не известно наличие и расположение мест захоронения отходов на площади муниципального образования или отдельного региона.



Рис.5. Блок- схема классификация ISODATA космического снимка методом сканирования пикселей классов с наибольшими процентными показателями

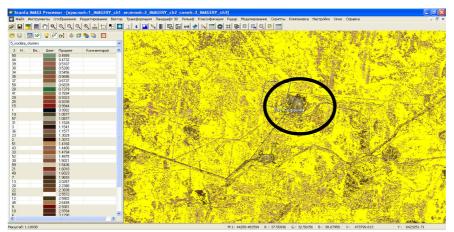


Рис.6. Полигон ТБО «Софроны» после классификации по всей захваченной территории методом сканирования пикселей классов с наибольшими процентными показателями

В результате классификации ISODATA весеннего снимка по всей захваченной территории, методом сканирования пикселей классов, с наибольшими процентными показателями, на снимках ярко выражены и хорошо различимы места размещения отходов, расположенные вне городской агломерации (леса, поля, пустыри). В зоне городской застройки, при данной классификации, места расположения отходов так же различимы, но при нескольких условия: увеличение масштаба снимка (приближение), знание ориентировочного местоположения тела полигона или свалки.

Следовательно, метод сканирования пикселей по процентному показателю присутствия на снимке, на данном этапе исследований, является наиболее эффективным для нахождения мест размещения отходов с помощью ДЗЗ и ГИС технологий.

Применение ДЗЗ обеспечивает получения объективной и актуальной информации о состоянии мест размещения отходов, что позволяет проверить достоверность данных, указанных в документациях по каждому объекту размещения отходов.

Более того, возможно отслеживать и контролировать процесс рекультивации закрытых мест размещения отходов, тем самым выявляя нарушения законодательства РФ, при нелегальной эксплуатации документально закрытых полигонов. На космических снимках хорошо различима внутренняя структура свалки, следовательно возможно отслеживать состояние закрытого полигона по внешнему виду – зарастание растительным покровом.

Так же, при сравнении разновременных космических снимков хорошо видны вновь созданные насыпи мусора на закрытых Объектах.

ДЗЗ дает возможность отслеживать динамику развития мест размещения отходов и уточнять их геометрические характеристики, такие как площадь тела полигона, площадь занимаемой территории включая СЗЗ, размер СЗЗ, расстояние до населённых пунктов (особенно важно при интенсивной застройке территорий).

В данный момент активно ведутся исследования и разработки по написанию эффективных алгоритмов обнаружения и мониторинга состояния не-

санкционированных свалок ТБО, с полным описанием необходимых характеристик объектов, таких как расстояние до населенного пункта, расстояние до водного объекта, морфология, геометрические данные и др.

Применение методов ДЗЗ дает возможность создания обширной базы данных о состоянии мест размещения отходов. Автоматическая архивация обеспечивает непрерывную актуализацию информации за счет автоматического пополнения и обновления космических данных. Более того, такие архивы дают возможность мониторинга состояния объектов размещения отходов, с необходимой периодичностью, методом сравнения разновременных снимков.

ДЗЗ обеспечивает своевременное доведение чрезвычайной информации до соответствующих государственных служб в режиме реального времени, что является одним из основных достоинств данного метода при работе.

#### Библиографический список

- 1. Опыт создания базы данных результатов мониторинга полигона твердых бытовых отходов д. Софроны / А.А. Зайцев, С.В. Исаев, Е.В. Панин/7 Географический вестник / Экология и природопользование/ 2012
- 2. Применение алгоритмов неконтролируемой классификации при обработке данных ДЗЗ / И.А. Зубков, В.О. Скрипачев / ФГУП «Научный центр космических информационных систем и технологий наблюдения» / Москва, 2011
- 3. ScanEx Image Processor v.3.6. Руководство пользователя / СканЭкс / Москва 2012
- 4. Изображение Земли из космоса. / Методическое Пособие Компании Сканэкс // Москва, 1-85 С.
- 5. Шевякина Н. А., Использование космических технологий для выявления стихийных свалок / Шевякина Н. А // Украина биологические конференции, 2011 г.

#### Использование ГИС для поиска перспективных мест произрастания некоторых видов дикорастущих лекарственных растений в пределах Кунгурской островной лесостепи

А. Ю. Турышев, А. Н.Согрина ГОУ ВПО ПГФА Росздрава, ГОУ ВПО ПГУ Пермь, Россия, E-mail: aleksej2@mail.ru

За период с 2003 по 2013 годы нами разработан электронный кадастр дикорастущих лекарственных растений, преимущественно луговых, для 22 районов Пермского края [1,2].

В ходе изучения возможностей ГИС в кадастрировании дикорастущих лекарственных растений нами разработан алгоритм создания и использования, представленный на рисунке 1 [2].

Предложенный алгоритм создания и работы геоинформационной системы на модели ряда растений Пермского края может быть использован для любых практически значимых растений, в том числе растений, подлежащих охране.

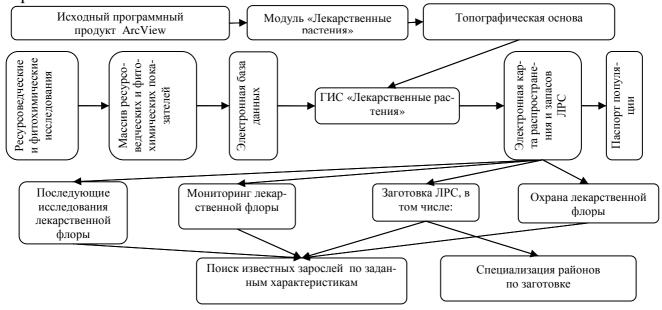


Рис. 1. Алгоритм создания и использования ГИС «Лекарственные растения»

Широкие возможности пространственного анализа данных позволили нам провести исследование с целью выявления наиболее перспективных мест обитания некоторых видов лекарственных растений.

Эталонным регионом для отработки методики применения пространственного анализа служила Кунгурская островная лесостепь, которая наиболее богата лекарственными растениями [4].

Для установления приуроченности популяций лекарственных растений к типам почв и элементам рельефа нами был проведен анализ с помощью мастера пространственных операций ArcView 3.2.a [3].

В качестве основополагающего массива данных была использована база данных по лекарственной флоре Кунгурской островной лесостепи, являющаяся составляющей частью ГИС «Лекарственные растения» Пермского края.

При объединении слоев «Лекарственные растения», «Почвы» и «Элементы рельефа» с помощью инструмента ArcView «мастер пространственных операций» нами было проведено сопоставление данных, содержащихся в каждом из информационных слоёв.

В ходе анализа нами была оценена приуроченность некоторых видов дикорастущих лекарственных растений, относящихся к сорно-луговой флоре: Hypericum perforatum L. – зверобой продырявленный, Hypericum maculatum Crantz. – зверобой пятнистый, Origanum vulgare L. – душица обыкновенная, Tanacetum vulgare L. – пижма обыкновенная и Artemisia absinthium L. – полынь горькая к типам почв и элементам рельефа.

В результате проведенного геопространственного анализа нами установлено, что для **душицы обыкновенной** в пределах Кунгурской островной лесостепи наблюдается приуроченность к следующим типам почв: аллювиальные дерново-кислые (37%) и светло-серые лесные (13%).

Для <u>зверобоев продырявленного</u> и <u>пятнистого</u> наиболее характерны светло-серые лесные (25%) и дерново-среднеподзолистые почвы (17%).

Наибольшее количество популяций <u>пижмы обыкновенной</u> обнаружено на светло-серых лесных и аллювиальных почвах в равной степени (26%) и серых лесных почв (19%).

<u>Полынь горькая</u> на территории Кунгурской островной лесостепи предпочитает аллювиальные дерновые кислые почвы (24%), в равной степени дерново-среднеподзолистые, светло-серые лесные и черноземы оподзоленные (13%).

<u>Тысячелистник обыкновенный</u> обычно произрастает на дерновосреднеподзолистых почвах (26%) и черноземах оподзоленных (17%).

Распределение по различным экспозициям склонов позволило установить, что исследуемые виды лекарственных растений на территории данных ботанико-географических зон предпочитают северные, восточные, юговосточные и юго-западные склоны.

Количественные характеристики популяций, приуроченных к тому или иному типу почв и склону, вводили в атрибутивную базу данных и на основе данных коэффициентов был построен новый слой «карта встречаемости» по конкретному виду (Рисунок 2).

По результатам проведенного пространственного анализа проведена градация встречаемости популяций в зависимости от типа почв и экспозиции склонов. Выделено 5 категорий:

I категория – встречается очень часто,

II категория – встречается часто,

III категория – встречается умеренно,

IV категория – встречается редко, очень редко,

V категория – не встречается.

Прогнозная карта встречаемости популяций Origanum vulgare L. на территории Пермского края (Кунгурский район)

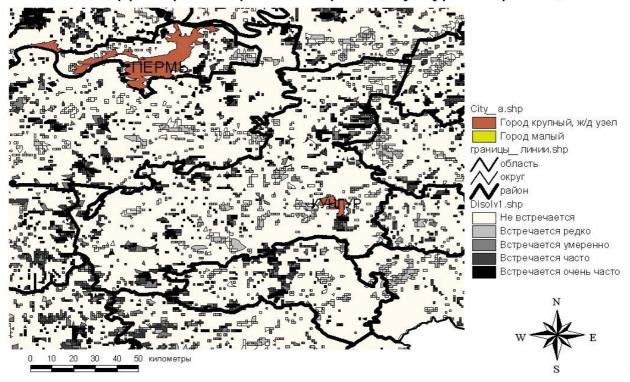


Рис. 2. Ранжирование территории по встречаемости популяций (на примере Origanum vulgare L.)

Таким образом, проведенный пространственный анализ позволил создать прогнозную карту территорий, потенциально пригодных как для заготовок сырья дикорастущих лекарственных растений.

Возможность прогнозирования мест произрастания позволяет, в свою очередь, значительно облегчить последующие ресурсоведческие обследования лекарственной флоры, а также снизить себестоимость данных работ.

#### Библиографический список

- 1. Турышев, А.Ю. Применение ГИС-технологий при кадастрировании популяций дикорастущих лекарственных растений / А.Ю. Турышев, А.Б. Яковлев, С.В. Пьянков // ИтерКарто/ИнтерГИС 16: Устойчивое развитие территорий: Теория ГИС и практический опыт: Материалы Международной конференции, Ростов-на-Дону, Зальцбург 3-4 июля 2010. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2010. С 300-305.
- 2. Турышев А.Ю. Методологические аспекты создания ГИС «Лекарственные растения»/А.Ю. Турышев//Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. Пермского гос. ун-

- та. Пермь, 2009. вып.2. C. 59-65
- 3. Турышев, А.Ю. Анализ некоторых особенностей произрастания лекарственных растений Пермского края с помощью геоинформационных систем / А.Ю. Турышев, И.Б. Некрасов // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. Пермь, 2010. вып.3. С. 119-123.
- 4. Турышев, А.Ю. Систематический анализ лекарственной флоры Пермского края / А.Ю. Турышев, А.Б. Яковлев, А.А. Устинова [и др.]// Вестник Пермской государственной фармацевтической академии №2.-2007.- С. 292-297.

# Результаты и перспективы региональных гидрогеологических работ в Пермском крае и их геоинформационное обеспечение

И. С. Копылов Естественнонаучный институт ПГНИУ georif@yandex.ru

Геоинформационное обеспечение региональных гидрогеологических работ с применением ГИС-технологий выполняет важную роль в методическом комплексе съемочных и поисково-оценочных гидрогеологических работ, которые необходимы для обеспечения Пермского края пресными подземными водами в условиях повсеместного загрязнения поверхностных источников водоснабжения, что имеет первостепенное значение населения края и его здорового образа жизни.

Региональные гидрогеологические исследования на Западном Урале и Приуралье проводятся более 50 лет. Вся территория в пределах Пермского края (160,7 тыс. км<sup>2</sup>) в 50-60 годы XXв. была охвачена гидрогеологической 1:500 000 (Л.И. Шимановский, съемкой масштаба Г.К. Михайлов. Е.А. Бобров, А.М. Оскотский и др.). Гидрогеологическое картографирование масштаба 1:200 000 выполнено на площади 120 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет около 75% ее территории (В.И. Мошковский, Е.А. Иконников, В.А. Поповцев, А.Г. Мелехов, И.М. Синицин, А.В. Ревин, В.П. Куликов, П.П. Ведерников, В.М Балдин, И.С. Копылов и др.). В основном, это съемки более 20-30 летней давности (в 1961-1970гг. закартированы 11 листов масштаба 1:200 000, в 1971-1980гг. - 10 листов, в 1981-1990гг. - 10 листов, в 1991-2000гг. – 3 листа). После 2000г. изучался лишь 1 лист – O-40-XV.

Территория характеризуется сложными гидрогеологическими условиями. Она расположена в пределах двух крупных структурно-геологических регионов: восточной окраины Русской платформы и горноскладчатого Урала, захватывает 3 бассейна подземных вод – Камско-Вятский бассейн пластовых напорных вод, Предуральский сложный бассейн пластовых вод и Западно-Уральский бассейн пластово-блоковых вод. В верхней части гидрогеологического разреза (в зоне интенсивного водообмена) залегают преимущественно фациально невыдержанные терригенные, карбонатные, сульфатные и галогенные породы верхнего палеозоя.

В определенных условиях происходит локальное скопление подземных вод, образуются водообильные зоны — ограниченные участки земной коры в зоне активного водообмена с повышенной трещиноватостью и концентрацией подземного стока, сформированные в локальных неотектонических блоках в условиях повышенной геодинамической активности. Они представляют собой сложные гидрогеологические объекты в водоносных пластах, горизонтах, комплексах, обладают повышенными ресурсами подземных вод в большинстве — пресных и слабоминерализованных. Формирование водообильных

зон происходит под действием многих процессов, ведущую роль среди которых играют структурно-тектонические условия и геодинамическая (неотектоническая) активность, обуславливающие повышенную степень трещиноватости пород, в Предуральском бассейне также – карст.

Пермский край обладает значительными ресурсами пресных подземных вод, однако, они расположены неравномерно по площади. Наиболее водообильные горизонты подземных вод, пригодные для создания крупных водозаборов, расположены в восточной части Предуральского бассейна и в Западно-Уральском бассейне, при этом основная часть населения края проживает в пределах Камско-Вятского и Предуральского бассейнов. Современное хозяйственно-питьевое водоснабжение населения Пермского края базируется на использовании подземных и поверхностных вод с преобладанием последних.

Эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод края составляют 7805 тыс. м³/сут. По оценке ГИДЭК (на 2010г.) перспективная потребность Пермского края в питьевых водах составит 1244 тыс. м³/сутки. В крае ведутся поиски и разведка подземных вод для водоснабжения крупных населенных пунктов (ООО «Запуралгидрогеология» и др.), разведано 126 месторождений пресных подземных вод, с суммарными эксплуатационными запасами 1125 тыс. м³/сут, из них в 2010 г. эксплуатировались 67 месторождений с общим водоотбором 226 тыс. м³/сут [1]. Текущая потребность в хозяйственнопитьевых водах удовлетворяется подземными водами лишь на 15 %. Сравнительно низкий процент использования подземных вод объясняется как необеспеченностью ряда городов достаточными запасами подземных вод (Пермь, Добрянка, Чусовой), так и неосвоенностью разведанных запасов (Кизел, Кунгур, Чердынь, Гремячинск, Нытва, Краснокамск). Города Соликамск и Березники (с населением около 300 тыс. человек) используют для хозяйственно-питьевого водоснабжения исключительно подземные воды.

Краевой центр – г. Пермь для хозяйственно-питьевого водоснабжения использует в основном поверхностные воды и только 2 % подземных. Потребность Перми в воде составляет порядка 500-600 тыс. м³/сут. В районе, прилегающем к Перми отсутствуют гидрогеологические предпосылки для выявления запасов пресных подземных вод в необходимом количестве. Пресные подземные воды распространены локально, в разрезе терригенных и карбонатно-терригенных отложений соликамского и шешминского горизонтов, на глубине 40-50 м. Создание системы водоснабжения для чрезычайных (аварийных) ситуаций для Перми является исключительно актуальной задачей. Решение этой проблемы возможно только при проведении комплексного гидрогеологического доизучения (ГГД-200) с геоэкологическими исследованиями листов О-40-XIV, XV, XX, XXI.

Серьезную проблему состояния подземных вод, как на действующих водозаборах, так и на региональном уровне создает мощное техногенное воздействие со стороны промышленного и горно-нефтедобывающего фактора. По степени защищенности подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта преобладают незащищенные и слабо защищенные террито-

рии; относительно защищенные территории развиты локально. Подземные воды верхних горизонтов подвержены значительному загрязнению, которое особенно проявляется в наличии нефтепродуктов, тяжелых металлов, хлоридов, нитратов, нитритов, пестицидов и др. Практически половина территории края имеет умеренно опасную степень загрязнения подземных вод, 10% имеет опасную и чрезвычайно опасную степень загрязнения.

Таким образом, для населения многих районов, особенно в западной центральной и южной его частях края испытывается острый дефицит в пресной питьевой воде. Как отмечено выше, территория Пермского края недостаточно обеспечена по площади среднемасштабными гидрогеологическими картами. Кроме того большинство гидрогеологических карт масштаба 1:200 000 были составлены на некондиционной геологической основе (с использованием карты Молотовской области масштаба 1:300 000, 1956г.). Не смотря на то, что проведение гидрогеологических съемок на Западном Урале полностью обеспечивалось необходимым комплексом фактического материала (скважины, родники, пункты опробования и др.) пространственное размещение гидрогеологических подразделений и выделенных в их пределах водообильных зон на картах отображалось довольно схематично. Поэтому, проблема поиска и обеспечения населения края пресной питьевой водой должна решаться, прежде всего, путем проведения гидрогеологического картографирования и специальных исследований, которые должны обеспечить поисковые и разведочные стадии работ современной гидрогеологической картографической основой нового поколения. К сожалению, тенденция снижения темпов проведения региональных гидрогеологических работ в последнее десятилетие, характерная для России в целом, обусловленная еще последствиями экономического кризиса не позволяет надеяться на развитие гидрогеологического картографирования (до уровня 70-90-х годов ХХв.) в ближайшей и среднесрочной перспективе.

В условиях дефицита финансирования на региональные гидрогеологические работы (стоимость которых довольно высокая) на первый план выходит их комплексирование с более экономичными – дистанционными исследованиями, направленными на поиски водообильных зон и применением ГИС-технологий [2, 3].

При этом объем собственно гидрогеологических работ (гидрогеологические маршруты, бурение скважин с откачками, гидрометрия, опробование, и особенно площадные геофизические методы) уменьшается (и концентрируется преимущественно на ключевых участках) а площадь исследований увеличивается и отрабатывается способом групповой съемки. Применение ГИСтехнологий на основе создания баз данных (БД), автоматизированных методов обработки этих данных, а также пространственного анализа, позволяет намного эффективнее проводить общий комплекс исследований.

В последнее десятилетие в крае выполнен ряд региональных геологических и гидрогеологических проектов с применением ГИС-технологий, в которых автор данной статьи принимал участие в качестве ответственного исполнителя: «Составление геоэкологической карты Пермской области мас-

штаба 1:500 000», «Составление гидрогеологической карты Пермской области масштаба 1:500 000 на основе создания базы данных «Региональная гидрогеология Пермской области масштаб 1:500 000» [4], «Составление (обновление) серийных легенд государственных гидрогеологических карт масштаба 1:200 000 (Пермская серия)» [5], «Создание автоматизированного рабочего места (APM) гидрогеолога – съемщика» [6], «Гидрогеологическое доизучение с геоэкологическим картированием масштаба 1:200 000 листа O-40-XV (гг.Пермь, Добрянка)» [7], «Составление карты неотектонической активности Пермской области масштаба 1:500 000», «Составление карты неотектонических блоковых структур Пермского Приуралья», «Обеспечение территории Пермского края аэрокосмогеологической основой с целью определения нефтеперспективных площадей и участков для включения в программу лицензирования». Проведение этих исследований способствовало разработке нового направления поисков водообильных зон на основе картографирования и изучения геодинамических активных зон (АЗ), по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с применением ГИС-технологий.

На основе этих работ был проведен комплексный структурногидрогеологический и гидрогеохимический, морфонеотектонический, линеаментно-геодинамический анализ Пермского края. Интерпретация известных гидрогеологических закономерностей (распределение подземного и подземного химического стока) и геодинамических закономерностей (геодинамические активные зоны) позволила установить новые или уточнить известные водообильные зоны и гидрогеохимические аномалии [8].

Основой для выделения геодинамических АЗ являлись материалы дистанционного зондирования и результаты дешифрирования космических снимков и аэрофотоснимков в региональном и локальном плане (масштаб 1:500 000-1:100 000). Основной объем дешифрирования выполнен на современных цифровых спектрозональных космоснимках высокого разрешения, с применением компьютерных технологий [3]. Технология компьютерного дешифрирования космоснимков и обработки данных реализована на базе программного обеспечения ESRI – ARC GIS и его модулей. Обработка линейных объектов – неотектонических линеаментов и мегатрещин, расчет их плотности (по протяженности на единицу площади) произведен в Arc Map (Spatial Analyst Tools, Line Density), которая ранжирована по баллам статистического распределения и классифицирована по геологическим признакам на классы неотектонической активности. Выделено более 50 тыс. прямолинейных линеаментов, различных таксономических рангов (региональных, зональных, локальных и коротких).

Региональные и зональные линеаменты, как правило, контролируют элементы тектонического строения территории. Наиболее тектонически ослабленными являются участки на границах неотектонических блоковых структур, где наблюдается наибольшее сгущение и пересечение линеаментов и мегатрещин, отмечается наибольшая расчлененность рельефа и в целом повышенная неотектоническая активность и водоносность. По показателям плотности линеаментов проведена оценка неотектонической активности тер-

ритории, построена карта геодинамических активных зон и участков. Всего на территории Пермского края по результатам регионально-зонального ДЗЗ установлено 60 крупных геодинамических АЗ с площадями 100-200 и более км². Пространственно они располагаются: 24 — Камско-Вятском бассейне, 18 — в Предуральском и 18 — в Западно-Уральском бассейне. Крупные геодинамические АЗ имеют сложное мозаичное строение и по материалам детального ДЗЗ, «разбиваются» на многочисленные участки разной интенсивности площадью от 2 до 20 км².

Пространственная корреляция площадей геодинамических АЗ и ранее выявленных водообильных зон указывает на их близкое соответствие (более 80%), причем в наиболее активных геодинамических зонах выраженных системами крупных неотектонических линеаментов формируются более водообильные участки. Положение, согласно, которому, в формировании гидрогеологической обстановки в зоне активного водообмена, ведущую роль играют состояние структурно-геологических условий и неотектонические движения является закономерностью, для многих регионов мира и подтверждено нами на территории Сибирской платформы по изучению распределения подземного стока и данным 4 тыс. родников на площади 120 тыс. км². Поэтому метод картирования водообильных зон по геодинамическим активным зонам может рассматриваться, как универсальный.

Комплексный анализ (структурно-гидрогеологический и гидрогеохимический, морфонеотектонический, линеаментно-геодинамический и др.) с учетом зонирования плотности трещиноватости, модуля подземного стока, данных по скважинам и родникам позволили скорректировать границы известных водообильных зон и спрогнозировать новые зоны. В результате построена гидрогеологическая ГИС-карта территории Пермского края [9] с геодинамическими активными, водообильными и гидрогеохимическими зонами (рис. 1, 2). Базовый масштаб 1:500 000. С учетом локальных гидрогеологических баз данных и инструментов ARC GIS, масштабируемая среда карты находится в интервале масштабов 1:1 1 000 000 - 1:200 000. В легенде и БД отражены: гидрогеологическое районирование по бассейнам подземного стока, характеристика гидрогеологических подразделений, водопроявления (месторождения пресных и минеральных подземных вод, гидрогеологические скважины, родники), водообильные зоны, химический состав подземных вод (3,5 тыс. анализов) и другие данные.

Основные ближайшие задачи геоинформационного обеспечения региональных гидрогеологических работ в Пермском крае:

- актуализация БД «Региональная гидрогеология Пермского края». Масштаб 1:200 000 с участками городов в масштабе 1:50 000;
- внедрение в практику гидрогеологического картографирования автоматизированного рабочего места (APM) гидрогеолога съемщика;
- разработка и внедрение ГИС-технологий и компьютерного гидрогеологического моделирования применительно к условиям городской среды.

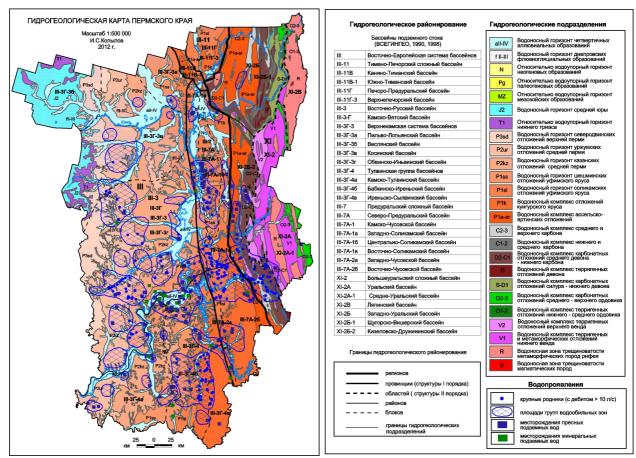


Рис. 1. Гидрогеологическая карта Пермского края [9]

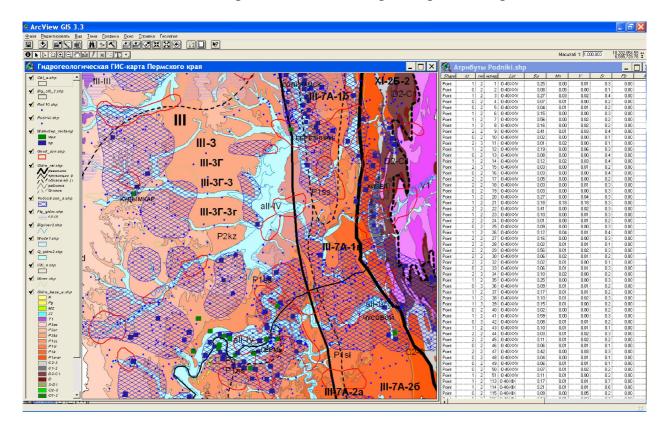


Рис. 2. Фрагмент гидрогеологической ГИС-карты Пермского края с геодинамическими активными и водообильными зонами

#### Библиографический список

- 1. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2012 году. Министерство природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края. Пермь, 2013. 232с.
- 2. Копылов И.С. Опыт геоэкологического и гидрогеологического картографирования территории Пермской области с применением компьютерных технологий / Опыт гидрогеологического и геоэкологического картографирования с применением компьютерных технологий. Мат-лы межрегион. совещ. (CD-ROM.). Оренбург: МПР НГУГП, 2000.
- 3. Копылов И.С., Алексеева Л.В. Комплексирование гидрогеологических и эколого-геологических исследований и картографирования в Пермском Предуралье // Научно-методические основы и практика регионального гидрогеологического изучения и картографирования. Тез. докл. второй Всероссийской науч.-практич. конф. М.: ВСЕГИНГЕО, 2001.
- 4. Копылов И.С. Составление гидрогеологической карты Пермской области масштаба 1:500 000 на основе создания базы данных «Региональная гидрогеология Пермской области масштаб 1:500 000». / Информ. карта. М.: ВГФ, 2002.
- 5. Копылов И.С. Составление (обновление) серийных легенд государственных гидрогеологических карт масштаба  $1:200\ 000\ (Пермская\ серия)$ . / Информ. карта. М.:  $B\Gamma\Phi$ , 2003.
- 6. Копылов И.С. Создание автоматизированного рабочего места (APM) гидрогеолога съёмщика. / Информ. карта. М.: ВГФ, 2003.
- 7. Копылов И.С. Гидрогеологическое доизучение с геоэкологическим картированием масштаба  $1:200\ 000\ листа\ O-40-XV$  / Информ. карта.  $M:B\Gamma\Phi,\ 2004.$
- 8. Копылов И.С. Гидрогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Сб. статей по материалам рег. науч.-практич. конф. с международным участием. Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2012. С. 145-149.
- 9. Копылов И.С. Коноплев А.В. Геологическое строение и ресурсы недр в Атласе Пермского края // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь. 2013. Вып. 3 (20). С. 5-30.

# Моделирование зон затопления при образовании ледового на реках с помощью ГИС-технологий (на примере с. Бобровка и пос. Усьва Пермского края)

А. Н. Шихов, Р. К. Абдуллин Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия, г. Пермь

Заторы льда на реках относятся к особо опасным гидрологическим явлениям. На реках Пермского края нередки случаи заторообразования, которые приводят к резкому подъему уровня воды и подтоплению жилых, административных и производственных сооружений. Частое образование ледовых заторов наблюдается более чем в 40 населенных пунктах Пермского края [Калинин, 2008].

### Методика геоинформационного моделирования затопления территории при образовании заторов льда на реках.

ГИС-технологии в настоящее время являются общепризнанным инструментом для моделирования затопления территорий и оценки возможного ущерба от наводнений. Существует общий алгоритм определения зон затопления средствами ГИС-технологий. Поскольку площадь зоны затопления зависит от двух переменных – рельефа и гидрологических характеристик водного объекта, на первом этапе важно на основе данных о рельефе выявить те участки, которые могут подвергнуться затоплению. Также необходимо получить данные об основных гидрологических характеристиках рассматриваемого водотока (режим, расход, уровень воды и др.). При наличии данных о рельефе и гидрологическом режиме водного объекта, может быть проведено моделирование затопления. Заключительная часть работы представляет собой оценку экономических и экологических последствий возможного подъема уровня воды.

Основой для моделирования зон затопления территорий при образовании заторов льда с использованием ГИС-технологий является высокодетальная цифровая модель рельефа (ЦМР) исследуемой территории. Для построения ЦМР необходим ряд исходных векторных данных, к которым относятся данные о рельефе (изолинии рельефа сечением не более 5 метров, отметки высот и урезов воды), данные о гидрографии (речная сеть, озера). Их можно получить с крупномасштабных топографических карт (масштабов 1:10000-1:25000). Цифровая модель рельефа, создаваемая для оценки зоны затопления, имеет ряд особенностей. Во-первых, для построения ЦМР достаточно рассматривать лишь область, непосредственно примыкающую к реке. Для корректного определения границы такой области достаточно, чтобы перепад высот от уреза водной поверхности превышал величину  $dH_{max}$ = $dZ_{max}$ +h, где h величина сечения горизонталей,  $dZ_{max}$  - перепад высот относительно поверхности водной поверхности при максимальном уровне затопления. Вовторых, в создаваемой модели рельефа обязателен учет обрывов в границах

полосы, представляющих естественный барьер при затоплении территории. И, наконец, корректная ЦМР должна иметь постоянное понижение вдоль русла реки [Яковченко, 2002].

Кроме того, при решении задач, связанных с определением зон затоплений, ЦМР должна быть гидрологически корректной. Гидрологическая корректность ЦМР включает в себя несколько основных понятий. Во-первых, в ЦМР должны отсутствовать фиктивные точки стока (под которыми понимаются ячейки, высота которых меньше чем у всех ближайших соседей). Вовторых, для двух произвольных точек, взятых на линии исходной речной сети, должна существовать потоковая линия, рассчитанная по ЦМР, соединяющая две этих эти точки [Яковченко, 2004, Постнова, 2005].

При решении задач, связанных с моделированием затопления территорий при образовании ледовых заторов, можно рассматривать два разных сценария развития событий.

Сценарий №1. Приток воды к месту образования затора несопоставимо меньше, чем потенциальная емкость образующегося выше места образования затора временного водоема. В таком случае, можно считать урез водной поверхности образующегося водоема постоянным. Поскольку в большинстве случаев, вскрытие рек и образование ледовых заторов в Пермском крае происходит за 5-10 дней до формирования максимальных расходов весеннего половодья, такая ситуация является весьма характерной. Для ее моделирования используется алгоритм, схематично представленный на рис.1а. Конечным результатом моделирования является динамика затопления территории через заданные отрезки времени, и составление перечней затапливаемых объектов.

Сценарий №2. В некоторых случаях, допущение о водной поверхности с нулевым уклоном может оказаться слишком грубым, особенно если русло реки в месте образования затора имеет значительный продольный уклон, или в случае большого мгновенного притока воды к точке затора, при прорыве вышерасположенных заторов льда. Подпор воды выше затора в таких условиях может распространяться нелинейно, и водная поверхность образующегося при затоплении водоема будет иметь уклон, величина которого меньше величины уклона водной поверхности реки в обычных условиях. Профиль водной поверхности может принимать криволинейный вид. Для моделирования криволинейной водной поверхности используется алгоритм, схематично представленный на рис.2а. Ниже описание этой методики приведено более подробно.

В качестве функции, моделирующей уклон водной поверхности зоны затопления, используется полином второй степени (исходя из предположения, что уклон водной поверхности должен уменьшаться при приближении к месту образования затора). Коэффициенты А и В данного уравнения характеризуют крутизну и кривизну уклона водной поверхности, коэффициент С характеризует абсолютную высоту зоны затопления в месте образования ледового затора. Путем изменения коэффициентов уравнения выполняется под-

бор ожидаемого профиля водной поверхности образующейся зоны затопления.

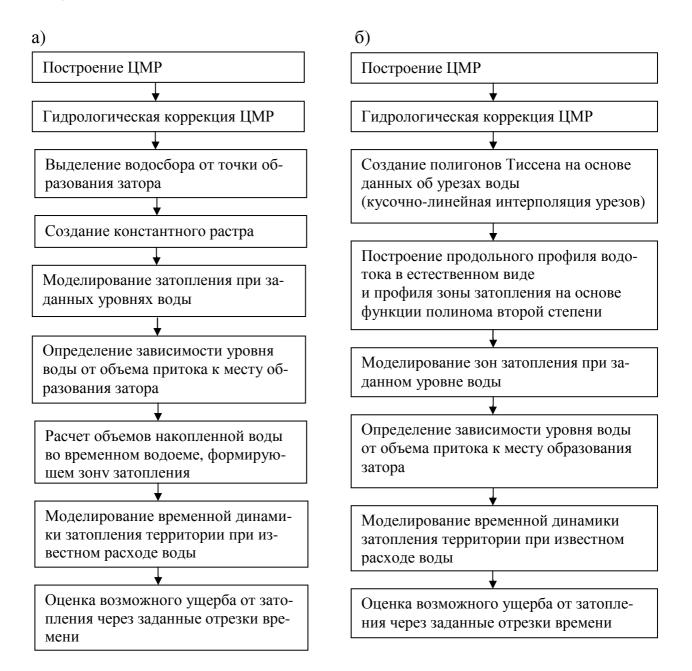


Рис. 1. Алгоритм моделирования затопления территории при образовании ледового затора: а) при условии нулевого уклона водной поверхности; б) с учетом уклона водной поверхности

На следующем этапе, с помощью полученного уравнения водной поверхности, средствами растрового калькулятора определяются зоны затопления при образовании ледового затора. Для этого полигонам Тиссена, имеющим значения высоты водной поверхности реки, был задан атрибут длины соответствующих участков профиля водной поверхности реки. Затем они переводятся в растровый формат для дальнейшего использования их в растровом калькуляторе. Далее в растровом калькуляторе, определяются зоны затопления при подъеме воды на заданный уровень относительно места образо-

вания ледового затора. Зоны затопления вычисляются по формуле Y(X)-DEM, где Y(X) – кривая водной поверхности зоны затопления, DEM - ЦМР территории.

Зная объем воды при ее подъеме на определенную высоту у места образования затора, можно перейти к оценке временной динамики затопления территории. Сначала необходимо вычислить зоны затопления при поднятии уровня воды в реке у места образования затора с определенным шагом, например 0,5 м, до максимально возможного уровня. После этого, для каждого случая вычисляется объем воды, накопленной выше затора. После вычисления объемов, определяется зависимость уровня от объема притока воды к месту затора, характерная для данного участка реки. Эта зависимость необходима для того, чтобы оценить динамику затопления территории с заданным интервалом времени при известном расходе воды на исследуемом участке. Умножив расход воды на время, прошедшее с момента образования затора льда, можно получить объем воды, формирующий зону затопления, и через зависимость вычислить высоту накопленной воды у ледового затора. Зная высоту воды у затора, по выше изложенной методике можно определить территории, которые пострадают от наводнения в данный момент времени, при этом нужно учитывать параметры ледового затора (высоту, пропускную способность и др.).

### Моделирование зон затопления территорий при образовании заторов льда на р. Усьва

Для моделирования зон затопления при образовании заторов льда были выбраны 2 участка р. Усьва, на которых наиболее часто наблюдается исследуемое явление, и на берегах которых располагаются относительно крупные населенные пункты. Оба участка относятся к среднему течению реки. Первый участок расположен вблизи пос. Усьва, а второй участок - в 60 км ниже по течению реки от первого, у с. Бобровка.

В районе с. Бобровка образование заторов льда обусловлено наличием резких резкого поворота русла на 120°, в 0,5 км ниже по течению от села. У пос. Усьва основной причиной возникновения заторов льда является железнодорожный мост, опоры которого сдерживают лед при ледоходе.

Следует отметить, что ледовые заторы относятся к малоизученным явлениям. Данных наблюдений за заторами льда на этом участке нет. Известно, что в районе пос. Усьва, ниже гидропоста, ежегодно образуются заторы, вызывающие резкий подъем уровня воды в реке. ГУ МЧС по Пермскому краю выполняются профилактические работы по подрыву скоплений льда на реке в весенний период. В зоне потенциального затопления при образовании затора льда на р. Усьва в пос. Усьва находится 27 жилых домов.

Потенциальный ущерб от формирования ледовых заторов в с. Бобровка еще больше, чем в пос. Усьва. В зоне возможного затопления расположено 30% территории села.

Данные о параметрах ледовых заторов в районе пос. Усьва и с. Бобровка отсутствуют. Основные характеристики заторов, обуславливающие высоту и интенсивность подъема уровня воды, (высота, время существования, процент

доля перекрытия живого сечения реки) являются случайными величинами, которые определяются свойствами ледового покрова, расходами воды в реке, динамикой разрушения льда. Поэтому при выполнении работы приходилось делать различные допущения, и строить обобщенные модели.

Для построения моделей затопления, в качестве исходных данных использовались векторные данные исследуемых территорий: горизонтали, отметки высот рельефа, отметки урезов воды, гидрографическая сеть, озера, которые были получены с топографических карт масштаба 1:25000 и с сечением горизонталей 5 метров путем векторизации в программном продукте Easy Trace 7.99.

Полученные векторные данные стали основой для построения цифровых моделей рельефа (ЦМР) исследуемых территорий. Перед получением ЦМР, из-за малого количества значений урезов воды, была проведена интерполяция имеющихся значений урезов воды р. Усьва, чтобы при построении ЦМР учитывалось постоянное понижение вдоль ее русла [6]. Построение ЦМР и все дальнейшие операции по созданию модели затопления выполнялись в программной среде ArcGIS 10.1. ЦМР создавались при помощи инструмента ТороtoRaster в программном модуле Spatial Analyst, размер ячейки растра задан равным 5 метров. После этого, чтобы получить гидрологически корректные ЦМР, производилось удаление на них локальных понижений рельефа, использовалась функция Fill. При моделировании затопления территории с. Бобровка и пос. Усьва были рассмотрены два разных сценария, описанных выше в разделе методика.

В первом случае приток воды к месту образования затора мал, в сравнении с потенциальной емкостью, т.е. возможностью накопления воды, образующегося при затоплении водоема выше затора в долине р. Усьвы. В таком случае можно считать урез водной поверхности, образующегося водоема, постоянным (т.е. водная поверхность зоны затопления горизонтальна). Для р. Усьва это может быть характерной ситуацией, так как, по данным наблюдений гидропостов, величина расходов воды в период ледохода в большинстве случаев не превышает 100 м³/с, в то время как максимальные расходы весеннего половодья достигают 500-600 м³/с.

В таком случае, моделирование затопления территории выполнялось на основе алгоритма, схематично представленного на рис. 1. На рис. 4, представлены полученные логарифмические зависимости уровня воды от объема притока для районов пос. Усьва и с. Бобровка. Результаты моделирования затопления с шагом 1 м. представлены на рис. 2,3. Можно увидеть, что некоторые кварталы с. Бобровка подвергнутся затоплению при подъеме воды от 2 метров, и пос. Усьва - также от 2 метров, но при дальнейшем поднятии уровня воды в реке, в пос. Усьва затоплению подвергнутся небольшие территории, в отличие от с. Бобровка. Это связано с наличием более крутых берегов реки в поселке.



Рис. 2. Затопление территории в районе с. Бобровка при образовании ледового затора (в случае горизонтальной водной поверхности зоны затопления)

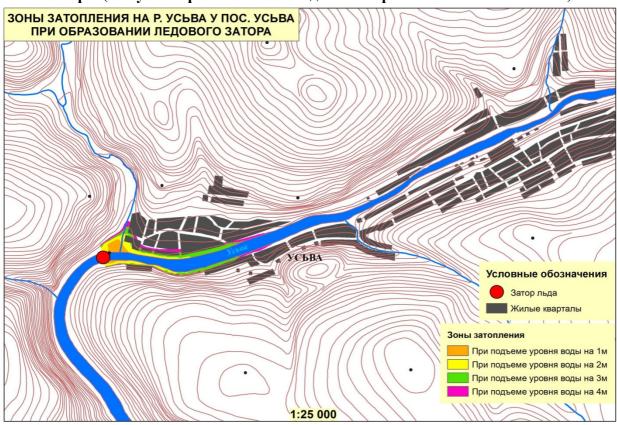


Рис. 3. Затопление территории в районе пос. Усьва при образовании ледового затора (в случае горизонтальной водной поверхности зоны затопления)

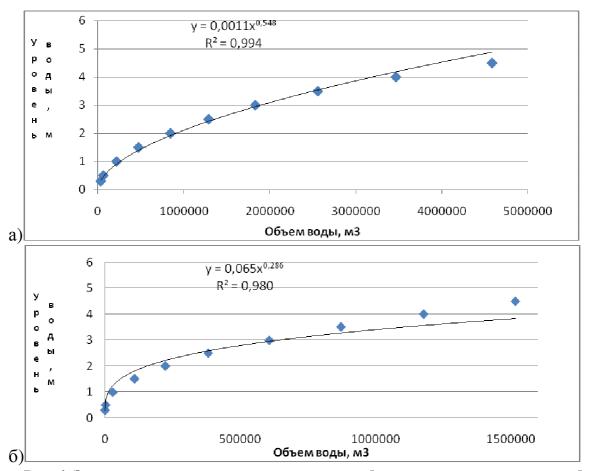


Рис. 4. Зависимость уровня воды выше места образования затора льда от объема притока (при моделировании горизонтальной водной поверхности зоны затопления): а) в районе с. Бобровка; б) в районе пос. Усьва

На основе полученных результатов можно проследить динамику затопления территории с часовым интервалом времени в случае, если ледовый затор сформировался на фоне средних расходов воды, наблюдающихся в период вскрытия реки и ледохода.

Средний расход воды в период вероятного образования ледового затора в районе с. Бобровка (при отсутствии данных гидрологических наблюдений), оценивался на основе данных по пос. Усьва, с учетом соотношения водосборной площади р. Усьва в районе с. Бобровка и в районе поста, равного 1,39.

Уровни воды при вычисленных средних расходах (117,2  $\text{м}^3$ /с для с. Бобровка и 84,6  $\text{м}^3$ /с для поста Усьва) рассчитывались с шагом в 1 час. При этом принималось допущение, что перекрытие живого сечения реки при образовании затора составляет 50%. (Таблицы 1, 2).

Далее, в растровом калькуляторе по выше изложенной методике были вычислены 10 растров, характеризующих территории, подвергающиеся затоплению с интервалом в 1 час. Исходя из полученных данных, можно проследить динамику затопления территории (Рис. 5, 6).

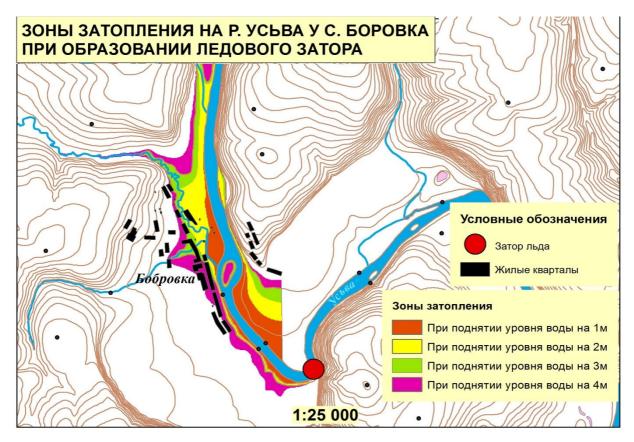


Рис. 5. Динамика затопления территории с. Бобровка с интервалом 1 час (при условии нулевого уклона водной поверхности зоны затопления)

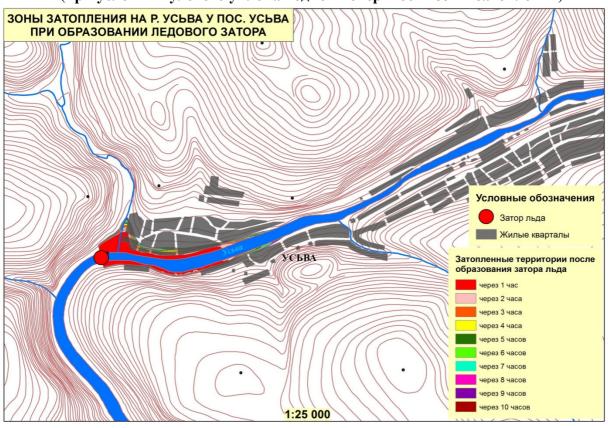


Рис. 6. Динамика затопления территории пос. Усьва с интервалом 1 час (при условии нулевого уклона водной поверхности зоны затопления)

Как видно из рисунков 5, 6, часть жилых кварталов с. Бобровка будут затоплены уже через 3 часа после образования ледового затора, и далее площади затопленных кварталов будут увеличиваться. В пос. Усьва жилые кварталы подвергнутся затоплению уже через 1 час с момента образования затора льда, но далее площади затопленных территорий будут увеличиваться незначительно, что связанно с особенностями рельефа данной местности.

*При рассмотрении сценария* №2, учитывается криволинейный характер водной поверхности зоны затопления.

Таблица 1 Уровни воды в зависимости от объема на участке реки Усьва у с. Бобровка при горизонтальной водной поверхности зоны затопления

Объем воды, тыс. м <sup>3</sup>	Время, ч	Уровень воды, м
211	1	0,91
422	2	1,33
633	3	1,66
844	4	1,95
1055	5	2,20
1266	6	2,43
1476	7	2,64
1687	8	2,84
1898	9	3,03
2109	10	3,21

Таблица 2 Уровни воды в зависимости от объема на участке реки Усьва у пос. Усьва при горизонтальной водной поверхности зоны затопления

J 11000 0 02200 11311 1 0 3110	ontanbhon boghon nobep	
Объем воды, тыс. м <sup>3</sup>	Время, ч	Уровень воды, м
304	1	2,41
609	2	2,93
913	3	3,29
1218	4	3,58
1522	5	3,81
1827	6	4,02
2131	7	4,20
2436	8	4,36
2740	9	4,51
3045	10	

В связи с тем, что моделируется водная поверхность с уклоном, возникает необходимость построения и восстановления продольного профиля водной поверхности водотока (в данном случае р. Усьва) на каждом из рассматриваемых участков. Поэтому были построены графики (Рис. 7) продольного профиля водной поверхности реки на оба участка.

Далее, продольные профили реки использовались для восстановления водной поверхности образующегося при затоплении водоема, с учетом возникающего подпора. Исходя из того, что уклон водной поверхности зоны за-

топления должен уменьшаться при приближении к ледовому затору, в качестве описывающей его функции был использован полином второй степени:

 $Y(X) = 0.003X^2 + 0.1X + C$  - для участка реки у с. Бобровка и  $Y(X) = 0.009x^2 + 0.6x + C$  - для участка реки у пос. Усьва

Эти уравнения были получены путем изменения коэффициентов А, В и С уравнения продольного профиля реки. Коэффициенты А и В характеризуют крутизну и кривизну уклона водной поверхности, коэффициент С уравнения характеризует абсолютную высоту зоны затопления в месте образования ледового затора.

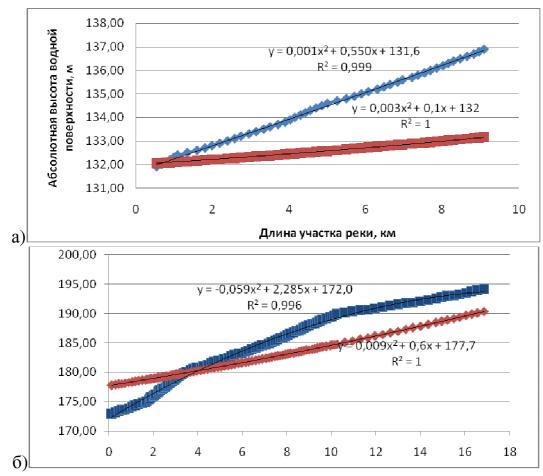


Рис. 7. Графики: а) синий - уклон водной поверхности участка р. Усьва у с. Бобровка; красный - уклон водной поверхности зоны затопления при абсолютной высоте подъема воды 132 м; б)синий - уклон водной поверхности участка р. Усьва у пос. Усьва; красный - уклон водной поверхности зоны затопления при абсолютной высоте подъема воды 177,7м.

На следующем этапе, с помощью полученных уравнений водной поверхности и растрового калькулятора были определены зоны затопления при образовании ледового затор, при подъеме воды на 0,3; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5 метра относительно места образования ледового затора для двух исследуемых участков р. Усьва (Рис. 8, 9).



Рис. 8. Зоны затопления у с. Бобровка при подъемах воды в р. Усьва от 1 до 4 м (с учетом уклона водной поверхности затопления)

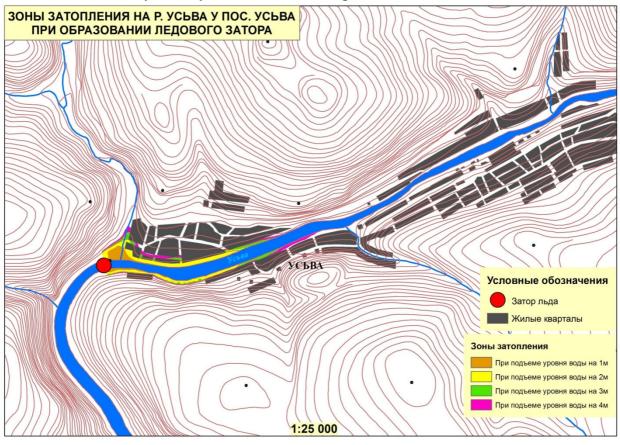


Рис. 9. Зоны затопления у пос. Усьва при подъемах уровня воды в р. Усьва от 1 до 4 м (с учетом уклона водной поверхности зон затопления)

При рассмотренном сценарии затопления, жилые кварталы с. Бобровка будут затоплены при подъеме уровня воды на 2 и более метров (со значительным увеличением площади затопления при подъеме уровня до 4 м). В пос. Усьва подтопление жилого фонда начнется при подъеме воды на 2 метра, но при дальнейшем увеличении уровня воды в зону затопления попадут незначительные территории (Рис.8, 9).

Далее, как и в первом случае, была рассмотрена динамика затопления территории с часовым интервалом времени. Для этого были определены зависимости уровня воды в месте образования затора от объема притока (характерные для рассматриваемых участков реки) при криволинейности водной поверхности, образующейся зоны затопления (Рис. 10).

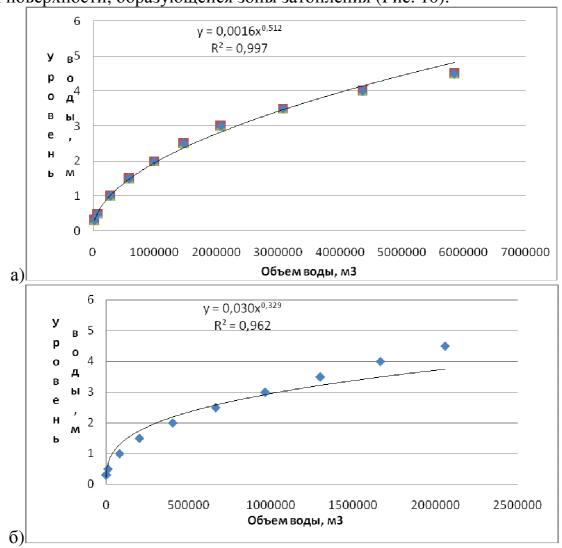


Рис.10. Зависимость уровня воды от объема притока (с учетом кривизны водной поверхности зоны затопления): а) в районе с. Бобровка; б) в районе пос. Усьва

На основе средних расходов воды в период ледохода на исследуемых участках ( $117.2 \text{ м}^3$ /с для с. Бобровка, и  $84.6 \text{ м}^3$ /с для пос. Усьва), были рассчитаны уровни воды при образовании затора, с интервалом в 1 час (табл. 3, 4). При этом делалось допущение, что перекрытие живого сечения реки затором составляет 50%.

Таблица 3

Уровни воды в зависимости от объема на участке реки Усьва у с. Бобровка при криволинейной водной поверхности зоны затопления

V воды	Время, ч	Время, сек	Уровень воды, м
210923,6	1	3600	0,85
421847,1	2	7200	1,21
632770,7	3	10800	1,49
843694,2	4	14400	1,73
1054618	5	18000	1,94
1265541	6	21600	2,13
1476465	7	25200	2,31
1687388	8	28800	2,47
1898312	9	32400	2,62
2109236	10	36000	2,77

Таблица 4 Уровни воды в зависимости от объема на участке реки Усьва у пос. Усьва при криволинейной водной поверхности зоны затопления

V воды	Время, ч	Время, сек	Уровень воды, м
304488	1	3600	1,91
608976	2	7200	2,40
913464	3	10800	2,74
1217952	4	14400	3,02
1522440	5	18000	3,24
1826928	6	21600	3,45
2131416	7	25200	3,62
2435904	8	28800	3,79
2740392	9	32400	3,94
3044880	10	36000	4,08

Далее, в растровом калькуляторе по выше изложенной методике расчета зоны затопления получили 10 растров, характеризующие территории подвергающиеся затоплению с интервалом в 1 час (Рис. 11, 12). Из полученных данных, можно проследить динамику затопления территорий через определенное время после образования ледового затора с заданными характеристиками. Небольшая часть с. Бобровка подвергнется затоплению через 3 часа после образования затора льда и начала наводнения, в пос. Усьва - через 1 час, но стоит отметить, что в пос. Усьва в зоне затопления через 10 часов окажется совсем малая часть поселка - 5 кварталов (из них только 1 полностью), а в с. Бобровка - 1/3 часть села.

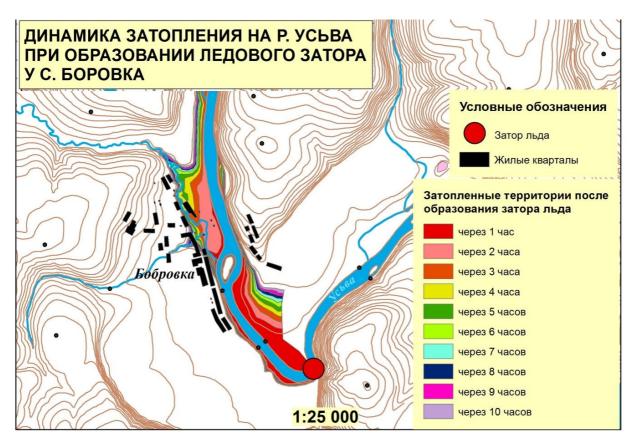


Рис. 11. Динамика затопления с. Бобровка с интервалом 1 час (с учетом уклона водной поверхности зоны затопления)

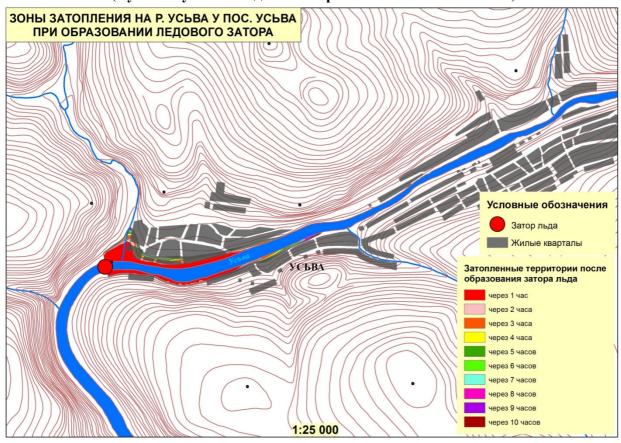


Рис.12. Динамика затопления пос. Усьва с интервалом 1 час (с учетом уклона водной поверхности зоны затопления)

#### Библиографический список

- 1. Руководство по гидрологическим прогнозам. Выпуск 3. Прогноз ледовых явлений на реках и водохранилищах. / Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Ленинград: Гидрометиздат, 1989. 168 с.
- 2. Калинин В.Г. Ледовый режим рек и водохранилищ бассейна Верхней и Средней Камы. Пермь, Изд-во Пермского гос. Университета, 2008. 252 с.
- 3. Постнова И.С., Яковченко С.Г., Дмитриев В.О. Технология оценки с помощью ГИС зон затопления весенними паводками малой обеспеченности // Вычислительные технологии, 2005. Том 10. № 53. С. 39 46.
- 4. Яковченко С.Г., Жоров В.А., Постнова И.С. Создание и использование цифровых моделей рельефа в гидрологических и геоморфологических исследованиях. Кемерово: Изд-во ИУУ СО РАН, 2004. 92 с.
- 5. Яковченко С.Г., Постнова И.С., Жоров В.А. Технология создания гидрологически корректных цифровых моделей рельефа // ИнтерКарто 8: ГИС для устойчивого развития территорий: материалы международной конференции. Хельсинки Санкт-Петербург, 28 мая 1 июня 2002 г./гл. ред. Ю.М. Артемьев: ЗАО «Карта», 2002. С. 137 142.
- 6. Справка Arc GIS 10.1. Обзор группы инструментов Гидрология (Hydrology) [Электронный ресурс]. Режим доступа (URL): http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.1/index.html#//009z0000004w0000000. Дата обращения 15.09.2013

## Методические подходы к созданию системы локального расчетного мониторинга атмосферных биоаэрозолей

К. Г. Шварц, В. А. Шкляев

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail kosch@psu.ru

Исследования переноса атмосферных биоаэрозолей в современных условиях является актуальной задачей. Это обусловлено тем, что под влиянием глобальных климатических процессов происходит изменение мощности источников биоаэрозолей, концентрации и состава атмосферных биоаэрозолей. Климатические изменения приводят к смещению ареалов распространения растений, животных и микрофлоры, являющимися источниками различных патогенов, которые могут оказывать воздействие на новые регионы. Следовательно, изменяется эпидемическая и эпизоотическая ситуации в этих регионах. Постоянно присутствующие в атмосфере биоаэрозоли оказывают влияние на различные компоненты биогеоценозов, а также, на здоровье человека. Для некоторых биогенных компонентов атмосферных аэрозолей установлены регламентирующие предельно допустимые концентрации этих веществ в атмосфере, но не разработано подходов к комплексной оценке опасности, представляемой микроорганизмами и микозами, находящимися в атмосферном аэрозоле для населения региона.

Перенос биоаэрозоля в атмосфере постоянно сопровождается процессами образования новых частиц; уменьшения их концентрации за счет коагуляции и осаждения; изменения состава частиц при химических реакциях, проходящих в объеме и на поверхности частиц. В этой связи мониторинг концентрации биоаэрозоля необходимо проводить в реальном времени. Однако, в настоящее время нет ни методического, ни технического обеспечения мониторинга биоаэрозолей в атмосферном воздухе. Для того чтобы отследить изменения характеристик биоаэрозолей в пространстве, нужно проводить измерения и осуществлять пробоотбор в нескольких точках одновременно. Следовательно, необходимо разработать методическое и техническое обеспечения мониторинга различных характеристик биоаэрозоля одновременно в нескольких точках контролируемого региона в режиме, близком к реальному времени.

Важной задачей мониторинга является также определение возможных направлений переноса с целью нахождения источников биоаэрозолей. Существующие в настоящее время математические модели распространения биоаэрозолей (модели типа «рецептор-источник») используют различные подходы. Метод моделирования траекторий, основанный на лагранжевом подходе, достаточно хорошо описан [6]. С помощью таких траекторий определяется перенос частиц по известным координатам источника. Для того, чтобы идентифицировать источник, воздействующий на исследуемый регион, необходимо рассчитать обратные траектории. Однако, сама методология по-

строения траекторий в обратном времени для решения задач переноса в турбулентной среде некорректна, так как траекторные методы чрезвычайно чувствительны к вариациям начальных условий. Однако, эти замечания относятся к дальнему переносу частиц. Относительно локального переноса, все эти недостатки несущественны.

Другой подход основан на моделях эйлерового типа. Существуют также комбинированные алгоритмы прямого и обратного моделирования. Они используются, например, для оценки источников воздействия при определении концентрации биоаэрозолей [1]. Однако, такие модели слабо или вообще не учитывают влияние метеорологических условий на жизнедеятельность микроорганизмов, входящих в состав биоаэрозолей.

Необходимость исследования переноса биоаэрозолей от природных источников лесных экосистем в окрестности крупного промышленного города требует учета горизонтальной неоднородности подстилающей поверхности и метеорологических характеристик, в первую очередь температуры воздуха и характеристик влажности.

Исследование возможных траекторий перемещения биоаэрозолей на локальном уровне позволит установить районы их поступления в атмосферный воздух и должно выполняться с учетом преобладающего направления и скорости переноса.

При моделировании переноса спор различных микозов важно знать их размеры. Они определяют скорость возможного оседания, время нахождения биоаэрозолей в атмосфере и высоту переноса, что необходимо для выбора территории исследования. Учитывая, что размеры биоаэрозоля не превышают 1 мкм, скорость их оседания не превосходит 1 мм/с, частицы биоаэрозоля могут рассматриваться по аналогии с газовой компонентой атмосферы.

При оценке воздействия биоаэрозолей на районы жилой застройки г. Перми и с учетом преобладающего переноса с юго-запада, выбранный расчетный прямоугольник, используемый для определения исходных данных, представлял собой квадрат со стороной 40 км (рис.) с шагом 200 м, т.е. сетка имела размеры 200х200 узлов.

Важным моментом при гидродинамическом моделировании является задание условий на нижней границе. Каждый тип поверхности должен определять температурный, влажностный и ветровой режим приземного слоя, скорость поступления биоаэрозолей, наличие того или иного рода плесневых грибов. Таким образом, для каждого типа поверхности должны быть известны следующий характеристики: уровень шероховатости, температурные и влажностные особенности. Причем, их количественные характеристики будут меняться в зависимости от погодных условий и сезона года. Учитывая особенности выбранного района исследований, были заданы 5 типов поверхности: городская территории (1), река (2), заболоченная поверхность (3), лес (4), участок с мелким кустарником или поле (5). Уровень микрошероховатости каждого типа поверхности определялся формально, в соответствии с литературными данными. Некоторые характеристики таких типов поверхности приведены в табл. 1

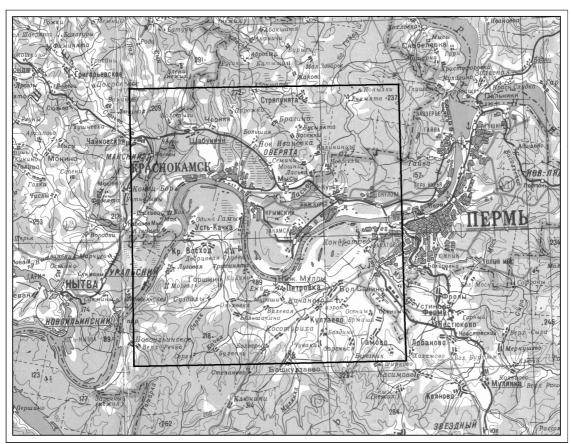


Рис. 1. Территория, используемая при моделировании переноса биоаэрозолей

Температурные и влажностные различия оценивались с учетом микроклиматических особенностей поверхности по сравнению с фоновым значением, которое соответствовало 5 типу поверхности (поле). Различия зависели от погодных условий и выбирались в соответствии с [2, 5].

Таблица 1 Динамические и термические особенности различных типов подстилающей поверхности (слабая неустойчивость)

Тип	No	Температурные	Уровень	Разность
поверхности		различия	шероховатости,	температуры
		относительно	M	в приповерхност-
		фона, °С		НОМ
				слое, °C
город	1	3	0,5	-1,0
река	2	-10	0,001	0,5
болото	3	-7	0,005	0,5
лес	4	-5	0,5	-0,1
поле	5	0	0,01	-0,5

Потоки тепла в приземном слое, а также граничные условия на верхней и боковых границах задавались в соответствовали с [3]. Для нижней границы задавалась величина градиента температуры

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = \gamma (\theta_1 - \theta_s), \tag{1}$$

где выражение в скобках – разность температуры в приповерхностном слое между уровнем 1 м и уровнем шероховатости,  $\theta_s$  – температура поверхности (рис. 2),  $\gamma$  – коэффициент, зависящий от потока тепла. Подобным образом задавались граничные условия для влажности.

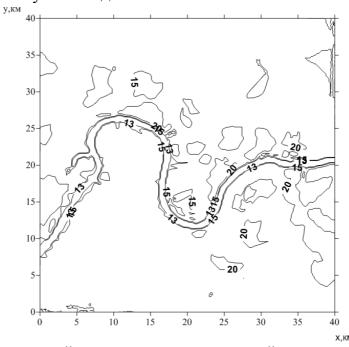


Рис. 2. Поле приземной температуры воздуха в районе исследований, °C

Влажность поверхности оценивалась в долях единицы, т.е по отношению к максимально возможной. Эти характеристики задавались для каждого узла сетки. Поскольку по результатам наблюдений определяется парциальное давление e (гПа), а не массовая доля водяного пара q, то для перехода от e к q используется соотношение

$$q = 0.622e/p_{a}, \tag{2}$$

где  $p_{\rm a}$  – атмосферное давление в гПа.

В качестве характеристики устойчивости атмосферы использовался внешний параметр шероховатости, определяемый по результатам радиозондирования

$$M = \frac{g}{lV_g} \frac{\delta\theta}{\theta_s},\tag{3}$$

где g –ускорение силы тяжести, l –параметр Кориолиса,  $V_{\rm g}$  –скорость геострофического ветра,  $\delta\theta$  –градиент потенциальной температуры в пограничном слое атмосферы.

Система исходных уравнений включает уравнения движения, притока тепла, переноса примеси. Преобразованная система уравнений была получена в [4]. Дополнительно используется уравнение переноса массовой доли водяного пара. В уравнении переноса примеси наземный источник считается

нестационарным, интенсивность которого зависит от влажности и температуры подстилающей поверхности.

Таким образом, предложенная модель расчетного мониторинга позволит оценивать локальный перенос биоаэрозолей на территорию Кировского района г. Перми и оценить ожидаемые концентрации над этим районом. Результаты расчетов позволят выбрать точки инструментального мониторинга.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант р\_урал\_а, №13-01-96001

#### Библиографический список

- 1. Бородулин А.И., Сафатов А.С., Белан Б.Д., Панченко М.В., Пененко В.В., Цветова Е.А. Высотные профили концентраций биоаэрозолей в тропосфере юга Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2005., т.18, №8. С. 694-698.
- 2. Романова Е.Н., Мосолова Г.И., Береснева И.А. Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства / Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 244с.
- 3. Шатров А.В., Шварц К.Г. Численное моделирование атмосферных мезомасштабных процессов переноса примесей в окрестности города Кирова // Вычислительная механика сплошных сред. 2010. Т.З, №3. С.117—125.
- 4. Шварц К.Г., Шкляев В.А. Численное моделирование атмосферных мезомасштабных процессов переноса многокомпонентной примеси при торфяном пожаре// Вычислительная механика сплошных сред 2012. Т.5, № 3. С. 274 283.
- 5. Шкляев В.А., Ермакова Л.Н., Шкляева Л.С. Исследование микроклимата города с целью оценки биометеорологических показателей селитебной территории// Географический вестник. Перм. ун-т. 2010. № 3 (14). С. 52-59.
- 6. Stohl A. Computation, accuracy and applications of trajectories a review and bibliography// Atmos. Environ. 1998. V. 32. N. 6. P. 447-466.

## Информационно-аналитический сайт «Опасные природные явления Пермского края»

А. Н. Шихов, А. В. Быков ГИС центр ПГНИУ, gis@psu.ru

В разрабатываемой ГИС-центром ПГНИУ системе мониторинга опасных гидрометеорологических явлений (ОГМЯ) Пермского края, в качестве подсистемы публикации данных используется web-ресурс «Опасные природные явления Пермского края». В настоящее время, на сайте публикуются климатические, архивные, фактические и прогнозные данные об опасных гидрометеорологических явлениях.

Интернет-ресурс «Опасные природные явления Пермского края» был создан ГИС-центром ПГНИУ в 2006 г., в целях информационного сопровождения прохождения весеннего половодья, и связанных с ним опасных гидрологических явлений. С 2007 года на сайте началось динамическое обновление информации о процессах снеготаяния и прохождении весеннего половодья на реках края, на основе данных космического мониторинга (спутники Terra/Aqua MODIS), а также организованных Министерством природных ресурсов Пермского края вертолетных обследований паводкоопасных территорий.

После открытия в феврале 2011 г. Межрегионального центра космического мониторинга ПГНИУ, были созданы условия для организации комплексного мониторинга опасных гидрометеорологических явлений в режиме, близком к реальному времени. Перечень публикуемых на сайте материалов и информационных продуктов был существенно расширен. В октябре 2013 г. была проведена модернизация сайта, его современная структура описана в табл. 1.

В настоящее время, сайт используется для публикации результатов мониторинга опасных гидрологических явлений в период весеннего половодья, опасных метеорологических явлений, связанных с развитием конвекции, аналитических и прогнозных справок о прочих видах опасных явлений. Ежегодно публикуются обзоры климатических особенностей года, и сведения о наблюдавшихся ОГМЯ, с приложением дополнительных данных (фрагменты космических снимков и данных метеорологического радиолокатора, данных об ущербе). Основными пользователями сайта являются региональные органы государственной власти и средства массовой информации.

#### Таблица 1

Структура и информационное наполнение сайта «Опасные природные явления Пермского края»

		риродные явления Пермского края»
Название	Название под-	Информационное наполнение
раздела	раздела	
Новости	-	<b>Оперативно обновляемая информация</b> (в том числе
		– результаты мониторинга опасных гидрологических
		явлений в период прохождения весеннего половодья);
		Аналитические обзоры и прогнозные справки о на-
		блюдавшихся и ожидаемых ОГМЯ (иллюстрирован-
		ные примерами космических снимков и тематических
		продуктов их обработки; прогностическими картами).
	-	Научные публикации по тематике мониторинга и
C		прогнозирования опасных гидрометеорологических
Статьи		явлений Пермского края; обзоры опасных явлений
		погоды из журнала «Метеорология и гидрология»
Информаци-	_	Ссылки на источники фактических и прогнозных
онные ресур-		гидрометеорологических данных; базы данных об
сы		опасных явлениях; каталоги спутниковых снимков
	Законодатель-	Федеральные законы и постановления Правительства
	ство РФ	РФ в области организации мониторинга ЧС природ-
	CIBO I T	ного характера
	Законодатель-	Законы Пермского края, указы Губернатора, поста-
		новления Правительства в области организации сис-
Цоплатирио	ство Пермского	= -
*		
правовая оаза		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
		• • • • • •
	, , ,	1 10
		•
	ГОСТЫ	* *
		1 1 1
	_	
		• •
	погоды	<u> </u>
		<u> </u>
	•	, 1
Архивы лан-	сеннего полово-	ния весенних половодий в 2009 – 2013 гг.
•	дья	
	Вертолетные об-	1
pmmu	следования	
	2007-2008 гг.	гг.), с фотографиями.
	Мониторинг	Карты динамики снежного покрова по данным
	процесса снего-	Terra/Aqua MODIS; карты запасов воды в снежном
	таяния	покрове по результатам математико-
		картографического моделирования; сравнительный
		анализ процессов снеготаяния в 2010-2013 гг.
	Лесные пожары	Архивные данные космического мониторинга лесных
	•	пожаров (Terra/Aqua MODIS, LANDSAT) за 2001-
		2013 гг.
Нормативно- правовая база Архивы дан- ных монито- ринга	Вертолетные об- следования 2007-2008 гг. Мониторинг процесса снего- таяния	Тегга/Aqua MODIS; карты запасов воды в снежном покрове по результатам математико-картографического моделирования; сравнительный анализ процессов снеготаяния в 2010-2013 гг.  Архивные данные космического мониторинга лесных пожаров (Terra/Aqua MODIS, LANDSAT) за 2001-

Продолжение табл. 1.

1	2	3
	Климат	Обзоры климатических особенностей за год и за
		сезон (с 2010 по 2012 гг.); перечни наблюдавшихся
		опасных гидрометеорологических явлений
	Опасные метеоро-	Справочная информация о климатических характе-
	логические явления	ристиках и синоптических условиях развития
		опасных явлений погоды, в том числе карты по-
		вторяемости
	Опасные гидроло-	Справочная информация об опасных гидрологиче-
Справочный	гические явления	ских явлениях, характерных для Пермского края
раздел		(условия развития, районы проявления, возможный
раздел		ущерб, повторяемость)
	Климатические	Карты средней месячной температуры воздуха и
	карты	сумм осадков, с учетом высотной зависимости
	Вопросы и ответы	Критерии и перечни опасных явлений; Правила
		поведения в случае шквала, крупного града; на-
		воднения; признаки резкого изменения погодных
		условий
	Фотографии	Фотографии опасных гидрометеорологических яв-
		лений и их последствий за 2010-2013 гг.

В 2008, 2009, 2011 и 2012 гг. сайт использовался для информационного обеспечения Министерства общественной безопасности Пермского края, в рамках выполнения НИР по комплексному мониторингу опасных гидрологических явлений в паводковый период, на основе данных ДЗЗ и наземной наблюдательной сети. На сайте в оперативном режиме публиковалась следующие информационные продукты:

- Результаты мониторинга процессов снеготаяния на основе данных ДЗЗ Тегга/Aqua MODIS - площадь снежного покрова, процент заснеженности по бассейнам рек, маски снежного покрова и облачности;
- Космические снимки высокого разрешения (SPOT-2, SPOT-4, SPOT-5, EROS-B) паводкоопасных территорий, иллюстрирующие динамику развития весеннего половодья, контуры зон затопления, места образования ледовых заторов;
- Результаты математико-картографического моделирования процесса снеготаяния: площадь заснеженности, запас воды в снежном покрове, водоотдача снежного покрова;
- Анализ динамики уровней и расходов воды в реках, условий формирования пиков половодья, в зависимости от погодных условий весеннего периода и интенсивности снеготаяния;
- Результаты вертолетных обследований паводкоопасных территорий Пермского края (2007 2008 г.);
- Оперативная информация о расходах и уровнях воды в реках (по данным Росгидромета);
- Аналитические справки о ходе развития весеннего половодья.

С 2011 года, в летний период ведется мониторинг конвективных опасных метеорологических явлений на основе данных ДЗЗ со спутников NOAA,

Тегта и Аqua. Данные ДЗЗ в тепловом ИК диапазоне (11 мкм) позволяют определить температуру и высоту верхней границы облаков, выявить зоны активной конвекции, и возможного выпадения града, оценить скорость и направление их перемещения, определить фазу развития скоплений кучеводождевых облаков. В рамках мониторинга, на сайте публикуются фрагменты космических снимков и карт температуры верхней границы облаков по данным со спутников NOAA, Тегга и Aqua (на территорию восточной части Европейской России), с дополнительной информацией о наблюдающихся и ожидаемых явлениях погоды (по данным сети наблюдений и модели прогноза GFS/NCEP). При высокой вероятности развития ОЯ, данные публикуются на сайте в режиме реального времени.

Также на сайте опубликованы данные об ущербе для лесных ресурсов от сильных шквалов и смерчей летом 2009 и 2012 гг., и катастрофических лесных пожаров летом 2010 г.

В настоящее время на технологической основе ArcGis 10.1 JavaScript API разрабатываются три веб-картографических сервиса для оперативной публикации данных об опасных гидрометеорологических явлениях. Их характеристика приведена в табл. 2.

Таким образом, информационный ресурс «Опасные природные явления Пермского края» выполняет две основные функции:

**Информационное** обеспечение заинтересованных лиц фактическими и прогнозными данными об опасных гидрометеорологических явлениях, а также ущербе от них; преимущественно на основе космического мониторинга;

*Научно-образовательная функция*. Созданный на основе наземного и космического мониторинга архив данных об опасных гидрометеорологических явлениях в Пермском крае в 1981-2010 г. не имеет аналогов. Опубликованная на сайте информация может быть использована при разработке научно-образовательных курсов в области гидрометеорологии, дистанционного зондирования Земли и геоинформатики.

Таблица 2 Веб-картографические сервисы для публикации данных об опасных гидрометеорологических явлениях

Название	Информационное наполнение	Используемые материалы	Планируе-
сервиса			мая дата
			запуска
Прогноз	Оперативно обновляемые про-	Прогнозные данные мезо-	Готов к за-
опасных яв-	гнозные поля метеоэлементов	масштабной численной мо-	пуску
лений погоды	(температура воздуха, скорость	дели WRF/ARW с шагом	
	ветра, суммы жидких и твердых	сетки 10 км, а также гло-	
	осадков, конвективная неустой-	бальной модели GFS/NCEP,	
	чивость атмосферы) и зоны	с разрешением 0,5°. Забла-	
	возможного развития опасных	говременность прогноза -24	
	явлений	и 48 ч., временное разреше-	
		ние – 3 ч.	

Космический	Результаты космического мо-	Данные космического мо-	Март-
мониторинг	ниторинга и оценки ущерба от	ниторинга Terra/Aqua	апрель
опасных яв-	лесных пожаров и ветровалов;	MODIS, LANDSAT-8,	2014 г.
лений	прохождения половодья и ди-	SPOT-5, EROS-B, Meteop-	
	намики снежного покрова; кон-	1M	
	вективных опасных явлений		
	погоды.		
Наземный	Результаты математико-	Данные наблюдений сети	Март-
мониторинг	картографического моделиро-	метеостанций	апрель
опасных яв-	вания снежного покрова (запас		2014 г.
лений	воды в снеге, площадь засне-		
	женности, водоотдача); гидро-		
	термического режима (индекс		
	пожароопасности, индекс засу-		
	хи, гидротермической коэффи-		
	циент)		

# Установление взаимосвязи между полем облачности и температурным режимом приземного слоя атмосферы при помощи модели WRF

А. Л. Ветров, Е. М. Свиязов, А. Н. Шихов Пермский национальный исследовательский университет

Под влиянием облаков сильно изменяется радиационный баланс земной поверхности, а через него термический режим приземного слоя атмосферы. Следует отметить, что турбулентные потоки тепла влаги, сформированные у поверхности земли, также влияют на развитие облаков.

Целью исследования является изучение влияние облачного покрова на точность численного прогноза приземной температуры воздуха с помощью мезомасштабной модели атмосферы WRF-ARW. Моделировались атмосферные условия над территорией Уральского Прикамья в следующих числах 2013 г.:

6 апреля – безоблачный день по южной части Уральского Прикамья;

14 апреля – безоблачный день по северной и центральной части Уральского Прикамья;

15 апреля – безоблачный день по южной части Уральского Прикамья;

7, 8 апреля – дни со сплошно облачностью по всей территории Уральского Прикамья.

В период численного эксперимента территория Уральского Прикамья находилась под постоянным снежным покровом.

В качестве инструмента исследования использовалась мезомасштабная модель WRF V3.2.1. Прогнозы составлялись с использованием динамического ядра ARW. Для параметризации пограничного слоя и турбулентности использовалась схема Меллора-Ямады-Янича, для параметризации процессов на поверхности суши и в почве — схема Noah. Потоки длинноволновой радиации рассчитывались по схеме RRTM, а коротковолновой радиации — по схеме RRTMG, параметризация микрофизики в облаках производилась по Томпсону.

Расчет производился на 24 ч с 0 ч ВСВ до 24 ч ВСВ для каждого дня исследования. В качестве начальных и граничных условий использовался объективный анализ и прогноз GFS (глобальная прогностическая система США). Расчет производился для полигона 200 на 200 км с шагом интегрирования по пространству 10 км.

Обсудим точность воспроизведения моделью облачности. Из рис. 1-4 следует, что модель адекватно воспроизводит эти поля, таким образом, точность прогноза температуры должна определяться тепловым балансов в приземном слое атмосферы. Средняя абсолютная ошибка прогноза температуры, рассчитанная по 11 метеорологическим станциям Пермского края, составила  $4.2^{\circ}$ С.

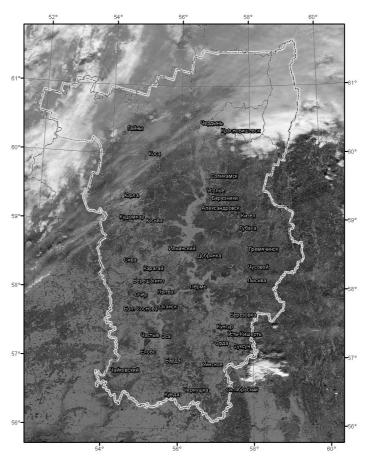


Рис. 1. Изображение облачности со спутника Terra/Aqua MODIS 15 ч BCB 6 апреля 2013 г.

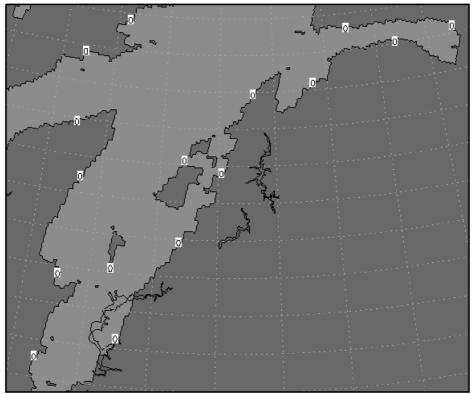


Рис. 2. Поле облачности (светлым тоном показан участок, где удельная водность  $Q(\kappa \Gamma/\kappa \Gamma) > 0$ ) в 15 ч ВСВ 6 апреля 2013 г. по результатам моделирования.

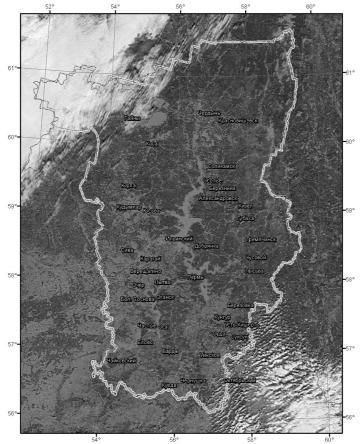


Рис. 3. Изображение облачности со спутника Terra/Aqua MODIS 15 ч BCB 15 апреля 2013 г.

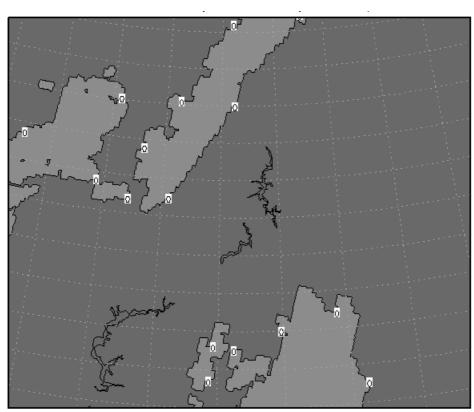


Рис. 4. Поле облачности (светлым тоном показан участок, где удельная водность  $Q(\kappa \Gamma/\kappa \Gamma) > 0)$  в 12 ч ВСВ 15 апреля 2013 г. по результатам моделирования.

Ожидаемо за два пасмурных дня 7 и 8 апреля произошло уменьшение абсолютной ошибки до 2,2°С. В ясные дни ошибка выросла до 5,3°С. Таким образом, эффект воздействия облачности на уменьшение приземной температуры воздуха моделируется удовлетворительно. Поскольку в случае прогнозирования температуры воздуха допускается отклонение на 2 градуса в большую или меньшую сторону при точности прогноза до градуса, то прогноз с ошибкой температуры 2,2°С можно считать успешным. Из анализа таблицы, следует, что наихудший прогноз температуры воздуха дан по станциям Лысьва и Гайны.

Таблица Абсолютные ошибки прогноза температуры воздуха в пасмурные дни 7 – 8 апреля 2013 г.

Метеостанция	Абсолютная	Метеостанция	Абсолютная
	ошибка прогноза,		ошибка прогноза,
	°C		°C
Чернушка	1,7	Пермь	2,2
Шамары	2,1	Верещагино	2,2
Оханск	2,1	Бисер	2,2
Ножовка	2,3	Кудымкар	2,2
Лысьва	2,6	Чердынь	2,2
Березники	2,2	Гайны	2,7

Если сравнить суточный ход фактической и модельной температуры у поверхности земли 6 апреля. Можно обнаружить, что для равнинной станции Оханск (абсолютная высота 171 м) и горной станции Бисер (абсолютная высота 463 м), точность прогноза разнятся (рис. 5 и рис. 6). Наибольшая ошибка по станции Бисер была 6 ч ВСВ и составила 11,5°С, наибольшая ошибка по станции Оханск 9,9°С. Оценка погодных условий и данных высотного зондирования подтверждает факт активной адвекции тепла, при этом на равнинных станциях рост температуры не столь резкий, поскольку здесь значительная часть тепла расходуется на таяние снега, воздух сильно трансформируется. Горная станции дает значения температуры воздуха значительно менее трансформированного воздуха, модель этот эффект не учитывает.

Ошибка другого рода иллюстрируют рисунки 7 и 8. Здесь отражен суточный ход температуры воздуха 15 апреля, когда облака отсутствуют. Это день характеризуется максимальными ошибками прогноза температуры воздуха в течение периода исследования: абсолютная ошибка на станции Лысьва 12,3°С, на станции Верещагино 12,2°С. Надо отметить, что вскоре после схода снежного покрова ошибки значительно уменьшились. Можно предположить этот день является одним из худших дней за первое полугодие

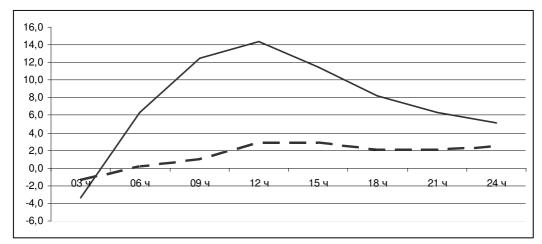


Рис. 5. Суточный ход температуры воздуха 6 апреля 2013 г (время ВСВ): сплошная линия фактическая температура, пунктирная линия модельный прогноз, станция Бисер.

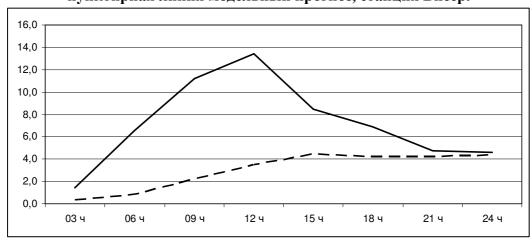


Рис 6. Суточный ход температуры воздуха 6 апреля 2013 г (время ВСВ): сплошная линия фактическая температура, пунктирная линия модельный прогноз, станция Оханск.

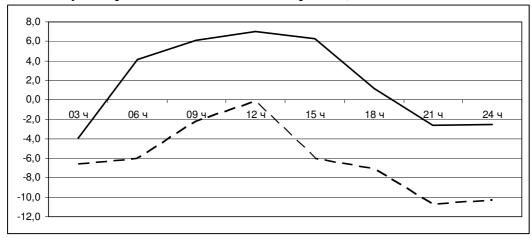


Рис. 7. Суточный ход температуры воздуха 15 апреля 2013 г (время ВСВ): сплошная линия фактическая температура, пунктирная линия модельный прогноз, станция Лысьва.

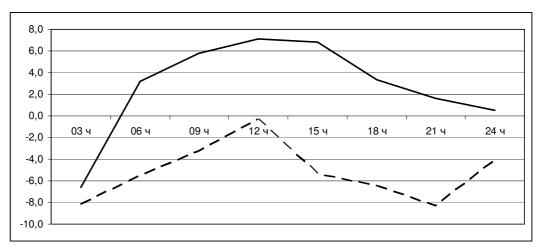


Рис. 8. Суточный ход температуры воздуха 15 апреля 2013 г (время ВСВ): сплошная линия фактическая температура, пунктирная линия модельный прогноз, станция Верещагино.

2013 г. по качеству прогноза. Адвекция теплого воздуха к этому времени прекратилась. Из чего можно сделать вывод, что модель WRF явно не учитывает радиационные процессы происходящие в приземном слое воздуха, поскольку дневной увеличение температуры воздуха от -3,9 до 7°С на станции Лысьва (на других станциях отмечалась похожее изменение температуры) возможно исключительно за счет положительного радиационного баланса.

Возможно, для достижения высокой точности прогноза температуры требуется пересмотреть параметризацию пограничного слоя по схеме схема Меллора-Ямады-Янича, с другой стороны, возможно, требуется улучшить выходные данные глобальной модели, либо при процессах интенсивного снеготаяния для входных данных использовать модель Гидрометцентра России, в которой параметризации приземных потоков тепла должны быть точнее.

Авторы благодарны Научно-образовательному центру «Параллельные и распределенные вычисления» за предоставленную возможность использовать суперкомпьютер «ПГУ-Тесла» для выполнения расчетов по математической модели атмосферы WRF.

## Определение динамики изменения дифференциального альбедо территории

С. В. Исаков

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, isakov-sergey2009@yandex.ru

Информация о вызванных антропогенной деятельностью нарушениях земной поверхности приобретает все большую важность особенно в условия современного изменения климата и проблемы сохранения биоразнообразия.

Методы, использующие спутниковое дистанционное зондирование, широко используется для таких задач как определение зон вырубки лесов и их пространственные изменения, решение гидрологических задач, определения общего характера землепользования и др. [1]. Но задача определения альбедо по крупномасштабным снимкам видимого диапазона в целях исследования микроклимата в рамках ГИС-технологий решается не так часто. Сложность определения представляется необходимой точностью дешифровки. Альбедо представляет собой определенную долю поступающей солнечной радиации отраженную поверхностью. В климатической системе, альбедо определяет радиационный баланс поверхности, влияет на температуру поверхности и на структуру пограничного слоя атмосферы. Таким образом, точное определение альбедо поверхности имеет большое значение для прогнозирования, проектирования и эко-системного моделирования.

Расширяя круг проблем, помимо определения альбедо по снимкам видимого диапазона, следует так же добавить и временную динамику изменения этого показателя. Так спутники семейства Landsat имеют наиболее продолжительный ряд наблюдений, по этой причине использование этой информации для исследования динамики пространственных измерений представляется наиболее актуальной. Для анализа предпочтительней использовать снимки спутников Landsat 5/7, функционирование которых датируется 1984 г. и 1999 г. соответственно. Единственным ограничивающим фактором широкого использования таких снимков является их пространственное разрешение (30 м – датчики ТМ и ЕТМ+). Комплексное использование таких данных со снимками высокого разрешения с других спутников, например, QuickBird / GeoEye, дает возможность оценить динамику застройки и развития города.

#### Методика исследования.

Для задачи исследования динамики изменения альбедо территории из всего многообразия поверхностей можно выделить следующие типы:

- •природные поверхности,
- •городские поверхности,
- •застройка.

На основе такой типизации целесообразно проводить деление поверхностей на виды в зависимости от величины альбедо. Группировку поверхностей следует проводить из общих физико-морфологических свойств объектов. Это

обусловлено тем, что дешифровка данных дистанционного зондирования спутниками проводится на основе морфологических признаков, то есть визуальной составляющей информации снимка и их физических свойств, то есть отражательной способности в различных диапазонах длин волн. Спутники Landsat ведут съемку с использованием 7 каналов (TM bands).

Таким образом, произведена выборка и группировка для следующих поверхностей на основе данных об альбедо.

- 1. Поверхности водоемов
- 2. Хвойный лес (включая смешанный лес)
- 3. Лес лиственный (включая кустарники)
- 4. Травяной покров (трава зеленая, газоны, стадионы, цветники, зерновые культуры)
- 5. Почвенно-земельный покров (темная почва, серая почва, малогумусная почва, трава сухая выгоревшая). В зависимости от увлажненности альбедо может уменьшаться.
- 6. Улично-дорожная сеть (проезжие части улиц, бетон, асфальтовые тротуары, асфальтобетон, площадки, дорожки с гравийным покрытием).
- 7. Крыши зданий из темных материалов (на основе гудрона, рубероида, битума и схожих материалов).
- 8. Крыши зданий из светлоокрашенных материалов (окрашенный битум, сталь окрашенная).
- 9. Крыши зданий из стали, алюминия.

В качестве источника данных использовались информация из источников [2, 4, 6].

Предлагаемые градации альбедо с информацией о входящих в них видах поверхностей, используемые в данной работе, представлены в табл. 1.

Таблица 1 **Альбедо локальных поверхностей** 

Градации альбедо	Вид поверхности			
До 10%	Поверхность водоемов			
11 – 15%	Улично-дорожная сеть, хвойный и смешанный лес,			
	крыши зданий из темных материалов			
16 – 20 %	Лиственный лес, почвенно-земельный покров			
21 – 25 %	Травяной покров			
26 - 30 %	Крыши зданий из светлоокрашенных материалов			
Более 30%	Крыши зданий из стали, алюминия.			

Для исследования были получены снимки спутников Landsat 7 и Landsat 5 с равным временным интервалом, составляющим 13 лет за летние месяцы. Данные выбирались с приблизительно равными датами съемки для наибольшей сопоставимости результатов (табл. 2).

Стутуту (потутуту	Дата			
Спутник (датчик)	Год	Месяц		
Landsat 7 (ETM+)	2013	Август		
	2000	Июль		
Landsat 5 (TM)	1987	Июль		

Каждый тип поверхности имеет свою определенную отражающую способность на различных участках электромагнитного спектра. Графически это можно представить в виде кривых спектральной яркости, величины которой получают специальными измерениями на местности. Ход кривых меняется в зависимости от состояния объекта. Различаются кривые сухой и влажной почвы, водоемов с чистой и загрязненной водой, лесов в разное время года. Обобщая информацию о типах поверхностей [2, 4, 6], следует выделить такие участки для типов поверхностей:

#### •Почва

Отражательная способность почвы уменьшается по мере увеличения содержания органического вещества. При увеличении влажности почвы, отражательная способность почв так же уменьшается на всех длинах волн. Текстура почвы приводит к увеличению отражения с уменьшением размера частиц.

#### • Растительность

Спектральное отражение основано на свойствах хлорофилла и поглощении воды листьями. Возможно выделение растительности в зависимости от типа, листовой структуры, содержании влаги и здоровья растений.

#### •Искусственные материалы

Бетон, битум и асфальт имеют спектральные кривые, на которых можно отметить увеличение поглощения электромагнитного спектра от видимой части до средней ИК зоны. Но стоит отметить, что с увеличением срока использования бетонных и асфальтных покрытий, бетон становится темнее, а асфальт светлее.

#### •Водные поверхности

Как правило, имеют высокую отражательную способность в видимой области спектра. Чистая вода имеет меньший коэффициент отражения, чем мутная вода. В ближней и средней ИК зоне значительно поглощает излучение.

Таким образом, опираясь на кривые спектральной яркости, следует планировать, в каких участках спектра целесообразно производить съемку поверхности Земли. Если выполнить космическую съемку местности одновременно в нескольких таких зонах спектра и по серии зональных снимков определить яркости объектов, можно получить аналоги кривых спектральной яркости – спектральные образы объектов.

#### Определение динамики изменения дифференциального альбедо

Исследование проводилось на примере Мотовилихинского района города Перми (южная часть, на территории которой происходит активное антропогенное изменение естественных поверхностей). Как и в других развивающихся районах, отмечается рост населения, в последние десятилетия ведется активная застройка территорий, изменение структуры землепользования.



Рис. 1 Территория исследуемого района, выделением отмечена область исследования (2013 год). Снимок слева синтез каналов 3-2-1, справа 5-4-3.

Для определения дифференциального альбедо городской застройки и естественных поверхностей требуется расчет отдельных его составляющих разнородных по отражательной способности поверхностей. После дешифровки снимков на предмет свойств подстилающей поверхности, далее, используя прикладные модули ArcGIS, была рассчитана зональная статистика рассматриваемой территорий (табл. 3).

Значительную часть территории занимает поверхность покрытая травой (около 30% в течение периода исследования), доля которой в общей площади неуклонно снижается. Травяной покров (среднее альбедо для поверхности примерно 23%) существенно влияет на среднее по площади значение альбедо. Доля антропогенных поверхностей так же растет существенно за период исследования, тем самым обеспечивая город все большим количеством территорий с низким альбедо. Таким образом, измененная часть поверхности вносит свой вклад в среднюю величину, значительно занижая ее (примерно 17% в течение периода исследования), что в свою очередь должно оказать значимое влияние на термический режим территории.

Таблица 3 Процентное соотношение площадей альбедо локальных поверхностей в период 1987-2013 гг.

Альбедо локальных по- верхностей	1987 г.	2000 г.	2013 г.	
До 10%	4,83%	4,73%	4,78%	
11 – 15%	34,71%	38,32%	43,84%	
16 – 20%	25,89%	24,18%	17,48%	
21 – 25%	30,32%	27,12%	28,13%	
26 – 30%	4,25%	5,64%	5,78%	
Среднее альбедо территории	17,72%	17,53%	17,31%	

Как видно из табл. 3 происходит неуклонное понижение альбедо территории в каждый из периодов, что может негативно влиять на комфортность проживания человека. Если рассматривать непосредственно центральные части города, то альбедо должно быть значительно ниже, из-за исключения вклада растительности на нежилых окраинах города в общую величину альбедо.

Частично решить проблему понижения среднего альбедо территории может использование материалов с высокой отражательной способностью. Это многообещающий подход, который позволит существенно снизить термическое воздействие окружающей среды города. Существуют исследования [3, 5], в которых показано, что увеличение альбедо на 25% ведет к значительному уменьшению (примерно на 10°С), сохраняя структуру поверхности значительно прохладней под прямым воздействием солнечной радиации, при этом так же уменьшается влияние конвективных движений от материала к внешней среде. Так светлоокрашенные поверхности показывают значительное увеличение термической комфортности (thermal comfort).

Оценивая возможности снимков Landsat для подобных исследований, так же необходимо помнить, что представленные значения альбедо имеют некоторые допущения. Помимо точности анализа с помощью снимков, это вариация коэффициента альбедо для почвы в зависимости от увлажненности, для улично-дорожной сети – срок службы и использования покрытия, для травяного покрова – фенологическая фаза и состояние поверхности. Снимки Landsat хорошо подходят для оценки средних значений альбедо, как по площади, так и по конкретной градации, а так же динамики изменения. Но при увеличении точности дешифровки будет значительно возрастать пестрота покрытия участками с различным альбедо, в то время как средние значения должны находиться примерно в тех же границах, что и при определении по снимкам Landsat.

#### Основные выводы

- •В последние два десятилетия (1987-2013), площадь антропогенного воздействия увеличилась значительно (11%), воздействие происходит равномерными темпами.
- •Отмечается массовое сокращение (более 10%) почвенно-растительного покрова и зеленых насаждений (диапазон альбедо: 16-20%, 21-25%).
- •Среднее альбедо территории составляет 17%.
- Урбанизация является основным доминирующим фактором, влияющим изменение структуры землепользования и величину альбедо территории.

Таким образом, цифровые изображения земной поверхности в сочетании с геоинформационными системами дают исчерпывающую информацию о характере, скорости и местоположении узловых точек роста и качественного изменения городской территорий. Такие данные могут быть извлечены из изображений со спутников семейства Landsat. Данные этих спутников позволяют оценить изменения в окружающей среде в течение долгого времени благодаря достаточной продолжительности их непрерывного функционирования.

#### Библиографический список

- 1. Воронина П. В., Мамаш Е. А. Классификация тематических задач по данным дистанционного зондирования MODIS. Обработка пространственных данных и дистанционный мониторинг природной среды и масштабных антропогенных процессов (DPRS'2013). Тезисы Всероссийской конференции (30 сентября 04 октября 2013 г.) // Барнаул: Пять плюс, 2013. С. 15.
- 2. Мягков С.М. Механизм формирования теплового баланса в городской застройке на примере г. Москвы / Авт. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. М. 2004. 26 с.
- 3. Akbari H., Pomerantz M., Taha H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas // Journal of solar energy 70, 2001, 259-310.
- 4. Song, J. Diurnal asymmetry in surface albedo // Agric. For. Meteorol. 92, 1998, 181–189.
- 5. Synnefa A., Karlessi T. Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate // Journal of building and environment, 2011, 38-44.
- 6. Wang, S. Impact of climate variations on surface albedo of a temperate grassland // Agricultural and Forest Meteorology 142, 2007, 133–142.

### Исследование эволюции конвективных систем, сопровождающихся шквалами, в июле 2013 г.

#### А. А. Поморцева

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», smirnova@psu.ru

Шквалом называют резкое усиление ветра у поверхности Земли до 8 м/с и более в течение короткого времени, но не менее 2 мин, сопровождающееся изменением его направления.

По условиям образования шквалы могут быть фронтальными, непосредственно связанными с приземной линией фронта, предфронтальные, возникающие в теплом секторе циклона, и внутримассовые, наблюдающиеся вне явно выраженных фронтальных зон, в теплых, неустойчиво стартифицированных воздушных массах или в тылу циклона.

Возникновение шквалов связано с процессом формирования осадков в кучево-дождевых облаках. Особенно благоприятные условия для шквалов складываются при упорядоченной конвекции на линиях неустойчивости.

По данным государственной наблюдательной сети на территории Пермского края за год отмечается 3-4 случая шквала, как опасного явления (при скорости ветра не менее 25 м/с) и в комплексе с другими метеявлениями. Рассмотрим повторяемость шквалов за период 2001-2013 гг. Случаи шквалов были отобраны по данным телеграмм «Шторм» Пермского ЦГМС, описаниям результатов обследований неотмеченных метеостанциями случаев, и дополнены обзорами об опасных явлениях журнала «Метеорология и гидрология» (рис. 1).

Согласно рис. 1 а, на котором приведены все выявленные случаи шквалов, чаще всего опасное явление фиксируется наблюдателями в районе г. Перми (15 случаев), что может быть связано с большой протяженностью города и наличием нескольких наблюдательных станций в разных частях города (Большое Савино, Бахаревка, Пермь-опытная). Очаг повышенной частоты шквалов отмечается также на юге (Ножовка – 6, Оса, – 5, Оханск, Нытва, Частые – 3 случая) и западе (Б. Соснова – 6 случаев) территории края. Поскольку факт шквала этой группы данных имеет документальное подтверждение, но в большинстве случаев не был зафиксирован метеостанциями, то эту группу данных будем считать сведениями, подтвержденными по косвенным признакам. Отдельно рассмотрим случаи шквалов, зафиксированные метестанциями — сведения, подтвержденные прямыми признаками.

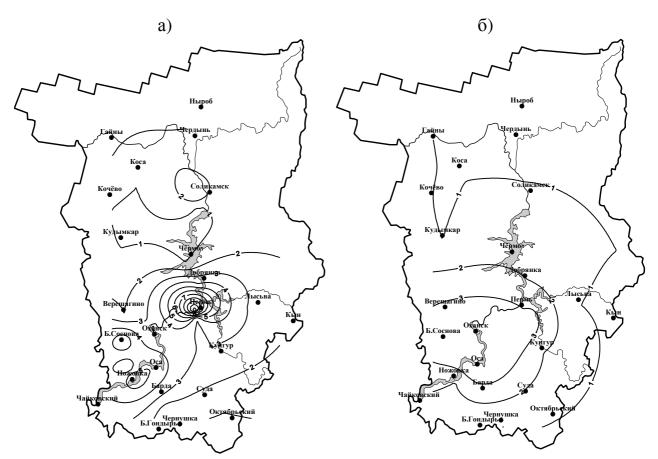


Рис. 1. Распределение шквалов по территории Пермского края (сумма за период наблюдений; учитывались все случаи фиксации явления отдельно за каждый день в каждом пункте): а) случаи шквалов, определенные по косвенным признакам; б) случаи шквалов, зафиксированные метеостанциями

По данным метеостанций (рис. 1 б) фиксируется меньшее количество шквалов, что связано с локальностью и кратковременностью рассматриваемого явления, но также выделяется очаг повышенной повторяемости шквалов в центральной и юго-западной части края.

В пространственном отношении распределение шквалов по территории Пермского края осуществляется следующим образом: на севере отмечено  $20\,\%$  шквалов по косвенным признакам и  $17\,\%$  по данным метеостанций, востоке — 6.5 и  $3\,\%$ , юге — 36 и  $17\,\%$ , западе — 10.5 и  $13\,\%$  и в центре 27 и  $30\,\%$  соответственно.

Исследование эволюции шквалов целесообразно проводить по данным метеорологического радиолокатора, поскольку этот прибор работает в режиме штормового оповещения с представлением площадной информации высокого разрешения (1×1 км) каждые 10 мин в радиусе 250 км от места своей установки.

Основной информацией при проведении исследования были данные обзоров доплеровского метеорологического радиолокатора С-диапазона (ДМРЛ-С), расположенного вблизи южной границы территории исследования, в г. Ижевск за июль 2013 г. В зону обзора данного ДМРЛ-С входит тер-

ритория Пермского края, на которой шквалы возникают с 70-% вероятностью (по косвенным признакам — 72 %, по прямым признакам — 60 %).

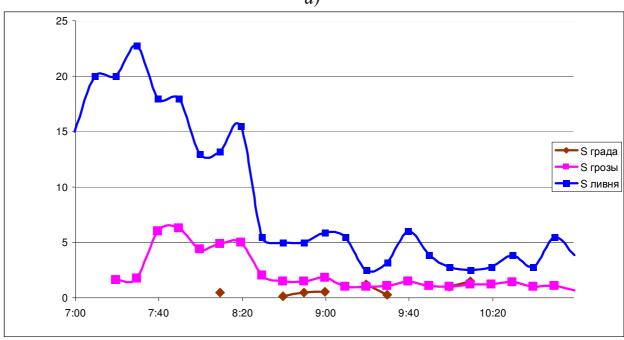
По данным радиолокационных измерений были выделены долгоживущие конвективные системы (продолжительность конвективной деятельности более 1 ч). Все конвективные системы были подвергнуты классификации, позволяющей выделить системы умеренной и глубокой конвекции. Критерием выделения послужили значения максимальной отражаемости в ядре радиоэха конвективных облаков (РКО) и радиоэха конвективных и слоистообразных облаков (РКСО) в момент времени  $T_{\rm max} = t(H_{\rm max}, Z_{\rm max})$ . При этом при  $Z_{\rm max} \ge 55$  dBZ конвективные системы являются глубоким системам. Далее была определена структура системы. Все конвективные системы можно разделить на линейные и хаотические, при этом шквалы в подавляющем большинстве связаны с линейными конвективными системами.

В работах [1, 2] подчеркивается сложность и неоднозначность устоявшегося определения мезомасштабной конвективной системы (МКС), поскольку существующее определение не отражает всего многообразия форм и масштабов конвекции, приводящей к формированию локальных штормов. Во многом соглашаясь с данными авторами, но учитывая особенности развития процессов в умеренных широтах, мы в настоящем исследовании будем оперировать следующими понятиями МКС: мезомасштабные конвективные линии (МКЛ) — системы глубокой конвекции (Z > 55 dBZ) линейной формы, в которых конвективные ячейки повышенной отражаемости (40 dBZ и более) образуют зоны осадков горизонтальной протяженностью более 150 км и соотношением длины и ширины этих зон порядка 4:1; МКН будем называть системы глубокой конвекции нелинейной формы с конвективными ячейками повышенной отражаемости (40 dBZ и более) при длительности существования не менее 1 ч и соотношении размеров зоны повышенной отражаемости к общей зоне РКО (РКСО) не менее 1:3.

МКС в течение жизненного цикла проходит несколько стадий, при этом ее структура и конфигурация определяется взаимным расположением конвективных ячеек, каждая из которых возникает и развивается по вертикали в течение примерно 30 мин. Конвективные ячейки могут возникать как отдельно, так и в виде скоплений, образовывая одно-, много- или суперячейковые шторма.

Рассмотрим процесс развития МКС. От момента появления первого конвективного элемента до исчезновения последнего изменяются горизонтальные и вертикальные размеры конвективной системы и ее радиолокационные характеристики (рис. 2 а, б). На рис. 2 приведен временной ход площади конвективных явлений (ливня, грозы, града, шквала) в условных единицах, выражающих площадь конкретного явления, по отношению к площади квадрата, в который вписан МКС.





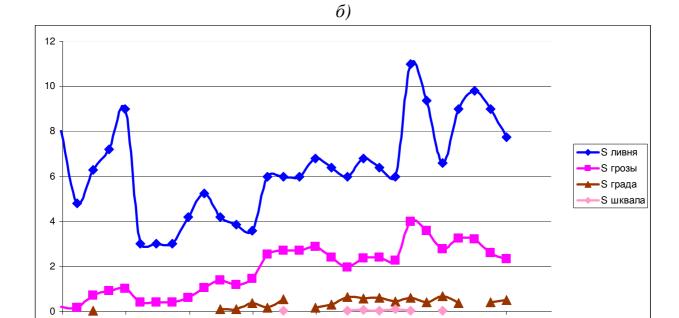


Рис. 2. Временной ход площади радиоэха конвективных явлений, 10.07.2013 г.: а) МКН в районе Перми; б) МКЛ в районе Кудымкара

10:30

11:10

9:10

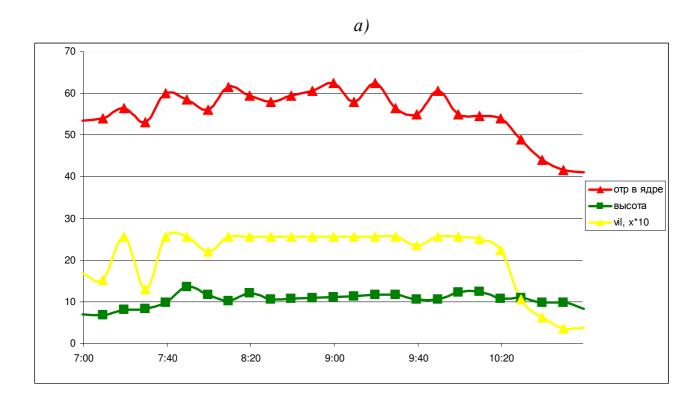
7:10

6:30

На рис. 2 а стадия возникновения МКН характеризуется появлением РКСО с ливнями. По мере развития МКН происходит развитие Сb по вертикали, увеличение радиолокационной отражаемости (рис. 3 а), что ведет к появлению конвективных ячеек с грозой, а в стадии интенсификации происходит уменьшение площади ливней по сравнению с площадью гроз. Конвективная фаза МКН длится более 4 ч.

На рис. 2 б отражено развитие МКЛ. Здесь отмечается цикличность появления доминирующих ячеек  $C_n$  в и колебания интенсивности ядра радиоэха

(рис. 3 б). Конвективная фаза длится 5 ч, однако не удалось зафиксировать момент диссипации и исчезновения конвективных элементов МКЛ, поскольку данная конвективная система сместилась за пределы радиуса действия ДМРЛ-С.



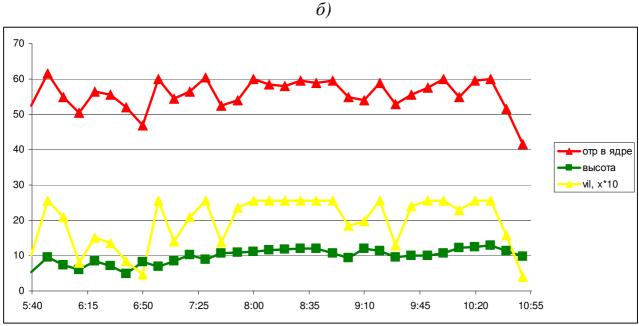


Рис. 3. Временной ход радиолокационных характеристик МКС, 10.07.2013 г.: а) МКН в районе Перми; б) МКЛ в районе Кудымкара

Все элементы МКС движутся с одинаковой скоростью — скоростью потока или скоростью трансляции  $(\vec{V}_m)$ . При этом скорость переноса ячеек в

ядре радиолокационной отражаемости  $(V_s)$  может отличаться от скорости трансляции МКС. Рассмотрим соотношение скорости трансляции МКС и скорости переноса отдельных штормов в процессе эволюции.

Скорость и направление перемещения  $\vec{V_s}$  между циклами обзоров вычислялась по формулам:

$$\vec{V}_{s,t} = \frac{L_{s,t}}{\Delta t},\tag{1}$$

$$A_{s,t} = arctg \frac{x_{s,t} - x_{s,t-1}}{\phi_{s,t} - \phi_{s,t-1}},$$
(2)

где  $V_{s,t}$  и  $A_{s,t}$  — скорость и направление перемещения центра ядра радиоэха, соответственно;  $\Delta t$  — временной интервал между циклами обзора равный 10 мин;  $L_{s,t}$  — смещение ядра радиоэха за время между двумя последовательными циклами обзора, рассчитанное по формуле:

$$L_{s,t} = \sqrt{(x_{s,t} - x_{s,t-1})^2 + (y_{s,t} - y_{s,t-1})^2} . (3)$$

На рис. 4 представлена траектория перемещения очагов радиоэха многоячейкового шторма, который развивался 10.07.2013 г. в период с 5:40 до 11:40 BCB.

Для удобства анализа шторм будем называть по району возникновения РКО (РКСО). Так, видно, что длина траектории перемещения шторма зависит от размера зоны повышенной отражаемости. Многоячейковый шторм (Пермь) имеет более короткие траектории, по сравнению с суперячейковыми штормами (Верещагино, Кудымкар). Рис. 4 показывает, что существует отличие и в направлении перемещения шторма.

За период развития штормов траектория смещения МКС изменялась от 55 до 74°, составляя в среднем 62°. При этом траектория смещения много-ячейкового шторма отклонялась от траектории МКС влево на 19°, а траектории суперячейковых МКС на 5-7° — вправо от потока. Последнее соответствует климатологии движения штормов в северном полушарии, однако требует дополнительной проверки тот факт, что многоячейковый шторм отклонялся по мере развития влево от трансляции. Заметим, что на основании рассмотрения единичного случая нельзя сделать окончательное заключение.

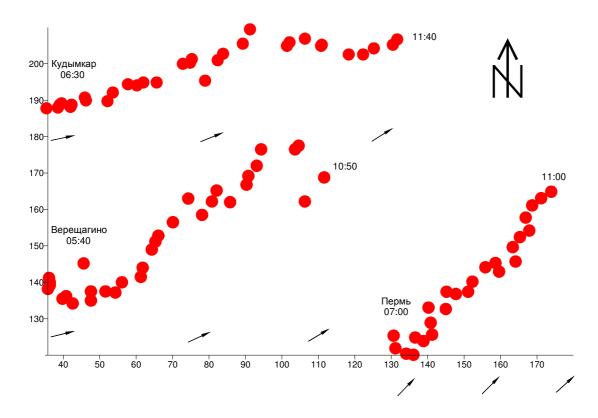


Рис. 4. Траектория смещения много- и суперячейковых штормов (10.07.2013 г., с 5:40 до 11:40 BCB)

Скорости движения  $\vec{V_s}$ , вычисленные по траекториям многоячейковых и суперячейковых штормов, существенно различаются между собой и явным образом не связаны с вычисленной скоростью трансляции  $\vec{V_m}$  (рис. 5).

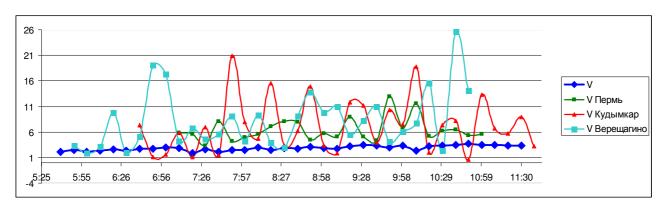


Рис. 5. Скорость потока и скорость перемещения максимума отражаемости МКС

Скорость трансляции  $\vec{V_m}$  в среднем составляет 2,9 м/с, изменяясь по мере развития МКС от 2,4 до 3,7 м/с. Градиент скорости трансляции от срок к сроку изменяется от -0,95 до 0,7 м/с. Для скорости движения  $\vec{V_s}$  характерны большие значения и резкие изменения, связанные с циклическим развитием конвективных ячеек. Согласно [Роджерс Р.Р., 1979], новый цикл начинается с появления в момент t ячейки  $C_{n+1}$  справа от доминирующей  $C_n$ ; восходящие движения в ней позволяют поддерживать относительно крупные облачные

элементы. Максимум отражаемости многоячейкового шторма фиксируется в зрелой доминирующей ячейке  $C_n$ , транслируемой потоком. Такое распределение сохранится до момента  $t+\Delta$ , когда убывающая отражаемость диссипирующей  $C_n$ , в которой преобладают нисходящие потоки, сравняется по значению с растущей отражаемостью более молодой  $C_{n+1}$ , почти достигшей максимальной интенсивности. В этот момент максимум отражаемости шторма совершит скачок вправо к новой доминанте  $C_{n+1}$ , чтобы далее транслировать-

ся с  $\vec{V}_m$ , вплоть до появления новой доминанты  $C_{n+2}$ . Таким образом, траектория и скорость перемещения ядра радиоэха мультичейкового шторма сочетает в себе развитие новых, трансляцию зрелых и диссипацию старых ячеек.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 12-05-31425) и государственного задания вузам № 5.3425.2011.

#### Библиографический список

- 1. Абдуллаев С.М., Ленская О.Ю. Эволюционная классификация мезомасштабных линий шквалов // Метеорология и гидрология. 1998. № 3. С. 24—32.
- 2. Ленская О.Ю., Абдуллаев С.М. Метод реконструкции типа мезомаситабных систем осадков, по особенностям изменения приземного давления // Вестник Челябинского университета. 2005. № 1. С. 143-151.
- 3. Роджерс Р.Р. Краткий курс физики облаков. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 231 с.

## Изучение случаев сильных продолжительных снегопадов с использованием доплеровского метеорологического радиолокатора

А. Л. Ветров, А. А. Поморцева, Е. М. Свиязов ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», meteo@psu.ru

Информация метеорологического радиолокатора относится к дистанционной неконтактной информации. Заключение о виде и интенсивности метеорологического явления делается в автоматическом режиме на основании однозначных и комплексных критериев распознавания путем анализа основных радиолокационных характеристик: радиолокационной отражаемости во всей толще облака и высоте распространения облака [3].

Радиолокационная информации широко применяется при оценке развития конвективных процессов в атмосфере летом, однако и в зимний период данные радиолокатора позволяют оценить пространственное распределение и интенсивность явлений погоды. Целью данного исследования является изучение случаев сильных снегопадов с использованием информации метеорологического радиолокатора. В качестве периода исследования выбран холодный период 2012-2013 гг.; рассматривались случаи с сильными снегопадами (6 мм и более за 24 ч и менее). Всего за период исследования были отобраны 5 дней со снегопадами: 30 ноября, 25, 26 декабря 2012 г. и 30, 31 января 2013 гг.

Территория исследования представляет собой прямоугольник со сторонами 500×500 км, с центром в г. Валдай (точка расположения Валдайского доплеровского метеорологического радиолокатора С-диапазона (ДМРЛ-С)) и включает в себя Новгородскую, Тверскую области и юг Ленинградской области.

Информационной базой исследования послужили результаты счета количества и интенсивности твердых осадков моделью прогноза погоды WRF и характеристики облачности и зон осадков, полученные в результате радиолокационного зондирования ДМРЛ-С. Радиолокационные характеристики в дни с сильными снегопадами снимались с соответствующих карт УВК ДМРЛ-С.

Рассмотрим условия образования снегопадов, вошедших в исследование. Зима 2012—2013 гг. была одной из самых снежных за последние несколько десятилетий (за исключением рекордного 2008 г.). Высота снежного покрова в Новгороде к концу зимы достигла 68 см.

**30 ноября 2012 г.** по сведениям Новгородского Гидрометцентра, во второй половине 28 ноября, и в течении суток 29 и 30 ноября на территории Великого Новгорода и Новгородской области отмечались сильные снегопады, метель и усиление ветра восточных направлений с порывами до 13-18

м/с, связанные с выходом Атлантического циклона. В южных районах области зафиксировано налипание мокрого снега на линии электропередач.

За три дня в Новгородской области выпало 38,6 мм осадков, что составляет почти две декадные нормы.

- 25, 26 декабря 2012 г. по информации Новгородского Гидрометцентра, под влиянием атмосферных фронтов циклона с центром над северо-западом Европейской территории России, во второй половине дня 25 декабря и ночью 26 декабря на территории области отмечалось усиление ветра южных направлений с порывами до 12-17 м/с, снегопад, налипание мокрого снега, местами слабый гололед. 30 ноября в Новгородской области отмечался очень сильный снег, выпало до 21 мм осадков. Сильный снег 30 ноября 1 декабря отмечался в Вологодской (до 16 мм осадков), Архангельской (до 25 мм), 30 ноября 2 декабря в Ленинградской (до 18 мм) областях, в Тверской области очень сильный снег (до 39 мм осадков). В центральной части и на северозападе России выпало почти 20 % годовой нормы осадков.
- **30, 31 января 2013 г.** 29 января под влиянием прохождением серии атлантических циклонов по северу европейской территории России на большей части территории Северо-западного федерального округа отмечались небольшие и умеренные снегопады, ветер с порывами 15-18 м/с и метель. В Новгородской области сильные осадки, преимущественно в виде снега и мокрого снега наблюдались в ночь с 30 на 31 января и днем 31 января.

Данные дистанционного зондирования микрофизических особенностей облачных элементов представлены значениями радиолокационной отражаемости (Z). Радиолокационная отражаемость Z [мм<sup>6</sup>/м³], являясь микрофизической интегральной характеристикой облака, зависит лишь от размера рассеивающих излучение облачных частиц D в единице радиолокационного объема  $V_3$ , и не зависит от технических параметров радиолокатора:

$$Z = \sum_{i=1}^{N} \frac{D_i^6}{V_9} = \int_{0}^{\infty} D^6 N(D) dD,$$

где N(D)dD — число рассеивающих частиц в интервале диаметров dD в единице радиолокационного объема (для снега под величиной D подразумевается диаметр сферической капли воды, имеющий ту же массу, что и снежинка) [1].

Для удобства величину радиолокационной отражаемости выражают через единицы дБZ. Для перехода значений радиолокационной отражаемости к дБZ (Z') необходимо воспользоваться переводной формулой:

$$Z' = 10^{\frac{Z}{10}}$$
.

При исследовании [1] было установлено, что использование информации МРЛ для расчета микрофизических характеристик облака позволяет до-

полнять и уточнять данные наземных метеорологических и аэрологических наблюдений.

ДМРЛ-С, данные измерений которого использовались при проведении данного исследования, работает в автоматическом режиме, передавая информацию через 10 мин.

При оценке значений радиолокационной отражаемости в дни со снегопадами за каждый срок радиолокационных наблюдений оценивались значения максимальной отражаемости в радиолокационном ядре радиоэха конвективных и слоистообразных облаков (РКСО), максимальная высота радиоэха РКСО (верхняя граница облачности) и определялись их координаты. При этом анализу подвергались лишь пиксели со значениями отражаемости больше 30 dБZ, что соответствует ливневым осадкам от слабой до сильной интенсивности (рис. 1, 2).

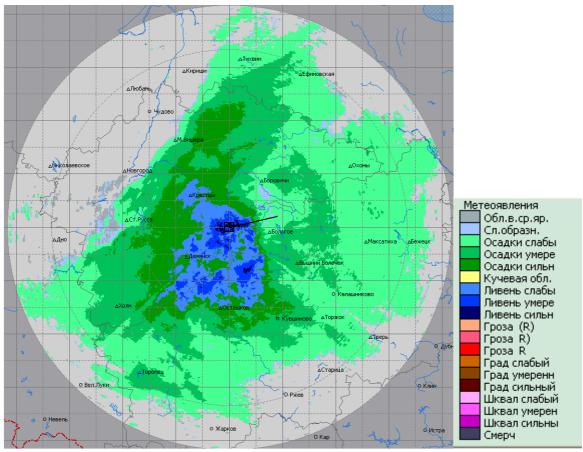


Рис. 1. Карта явлений ДМРЛ-С, 25.12.2012 г., 21:47 UTC

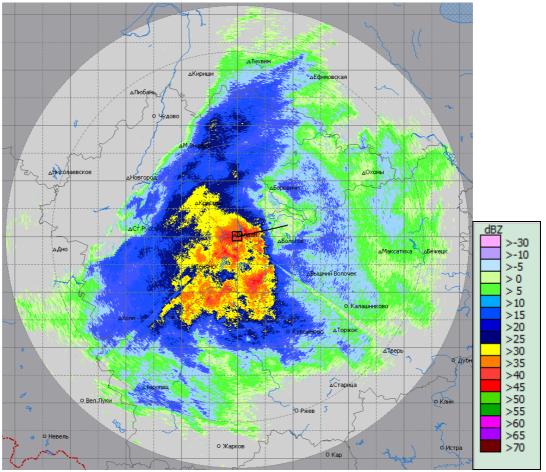


Рис. 2. Карта отражаемости ДМРЛ-С, 25.12.2012 г., 21:47 UTC

В анализе использовались сроки радиолокационных наблюдений, ближайшие к середине получасового периода каждого часа для того, чтобы было возможно произвести сравнение с данными счета гидродинамической модели. Таким образом, анализировались значения отражаемости во все сроки за 17 мин и 47 мин каждого часа.

Рассмотрим радиолокационные характеристики снегопада 30.11.2012 г. За начало снегопада принято начало суток по всемирному скоординированному времени (UTC), т.к. радиолокационные обзоры за 29 ноября в распоряжении исполнителей проекта отсутствовали. Таким образом, продолжительность снегопада составила 17 ч (начало 0:07 UTC, окончание 17:27 UTC). За этот период было зафиксировано 453 PKCO, средняя отражаемость в ядре которых составила 33,7 dБZ, изменяясь в пределах 30-48 dБZ. В ходе максимальной отражаемости в течение снегопада отмечается один пик наибольшей интенсивности (более 40 dБZ) в период с 7 до 10 ч UTC (13–14 ч местного времени) (рис. 3).

25 декабря в утренние часы отмечалось прохождение фронта, вызвавшее снегопад небольшой интенсивности, продолжавшийся 3,5 ч. Выявлено 56 РКСО со средним значением отражаемости 32,1 dБZ.

В 10:47 UTC на территорию исследования с юго-запада вышла еще одна фронтальная система, сопровождавшаяся сильными продолжительными снегопадами. Средняя радиолокационная отражаемость в ядре РКСО составила

33,7 dБZ, причем значения отражаемости изменялись от 30 до 56 dБZ. Интенсивность снегопада достигла максимума в ночные часы, когда в период с 21 до 23 ч UTC (1-3 ч местного времени) отражаемость превысила 45 dБZ (рис. 4).

Снегопад, продолжавшийся сутки, закончился 26 декабря в 9:47 UTC.

26 декабря ночью ДМРЛ-С вновь зафиксировал выпадение осадков. Радиолокационная отражаемость в ядре РКСО превысила 30 dБZ в 20:47 UTC (134 PKCO).

30 января 2013 г. ночью (21:47 UTC) при выходе циклона с центром над Скандинавией сложились благоприятные условия для выпадения осадков в виде снега. По данным ДМРЛ-С зафиксировано 385 РКСО со средним значением радиолокационной отражаемости в ядре 31,7 dБZ, при его изменении от 30 до 37,5 dБZ. Отмечался снегопад малой интенсивности, дисперсия отражаемости составила лишь 3,4 dБZ (рис. 5).

В дни со снегопадами были получены данные счета гидродинамической модели WRF. Расчетный полигон модели был настроен на территорию зондирования ДМРЛ-С Валдай. Расчет количества твердых осадков выполнялся с заблаговременностью до 48 ч в узлы регулярной сетки 4×4 км. Результаты выводились через каждые полчаса (0 и 30 мин) и сравнивались с данными радиолокационного зондирования с информацией того часа, в течение которого по данным ДМРЛ-С отмечались РКСО с отражаемостью в ядре, превышающей 30 dБZ.

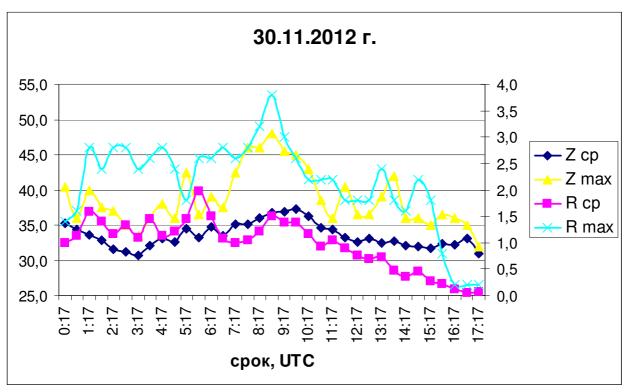


Рис. 3. Ход отражаемости и количества осадков в течение снегопада 30.11.2012 г.

Поскольку продуктом модели является накопленное количество осадков за время от начала счета модели до конкретного срока, а радиолокационная

отражаемость является мгновенной характеристикой, то для получения сравнимой информации из файла результата счета модели покоординатно извлекались данные о количестве осадков в сроки 0 и 30 мин каждого часа и вычислялась разность накопленного количества осадков. Полученное значение характеризует интенсивность снегопада за полчаса. Для того, чтобы перейти к стандартной размерности интенсивности (мм/ч) результат разности удваивался.

Для извлечения данных счета модели и визуального контроля результата использовался программный комплекс PCGrADS.

Оценим изменение в течение снегопада радиолокационной отражаемости в ядре РКСО и количество выпавших осадков в точке, совпадающей с координатами ядра радиоэха, по данным гидродинамической модели (рис. 3).

Заметен существенный разброс средних и максимальных значений, как отражаемости, так и количества осадков, поскольку отмечалось значительное количество РКСО с малыми значениями отражаемости в ядре (на периферии зоны осадков, в зоне радиотени или за экранирующими осадками). Тем не менее, достаточно заметна согласованность данных: в период 7:17-12:17 UTC отмечается одновременное увеличение средней и максимальной отражаемости, и пик максимального количества осадков. Интересен и требует дополнительного исследования факт высоких значений количества осадков при достаточно низких значениях радиолокационной отражаемости в начале снегопада: с 0:17 до 5:47 UTC.

Снегопад 25-26 декабря 2012 г. (рис. 4) характеризуется не только большой продолжительностью, но и нехарактерными для зимы метеорологическими условиями. Ночью 26 декабря, при прохождении теплого фронта, температура в регионе стала положительной, достигнув, например, в Новгороде +2°С в срок 6 UTC (10 ч местного времени). Это сказалось на результатах счета модели. При извлечении результатов моделирования количества осадков выбиралось количество твердых осадков (SnowNC), но при положительной температуре осадки моделировались как жидкие (RainNC). При рассмотрении погодных условий на метеостанциях территории исследования было отмечено, что в данный срок фиксировались снег, мокрый снег и небольшой ливневый снег.

Для того, чтобы не вносить погрешность в результаты, данные этого снегопада не изменяли. Но проверка на данных снегопада, начавшегося в 20:47 UTC, показала, что в кратковременные оттепели при выпадении осадков в виде снега и мокрого снега правильнее использовать осадки RainNC. При использовании прогностического поля RainNC расчетное количество осадков увеличилось приблизительно на 40 % и приобрело большую согласованность с данными радиолокационной отражаемости.

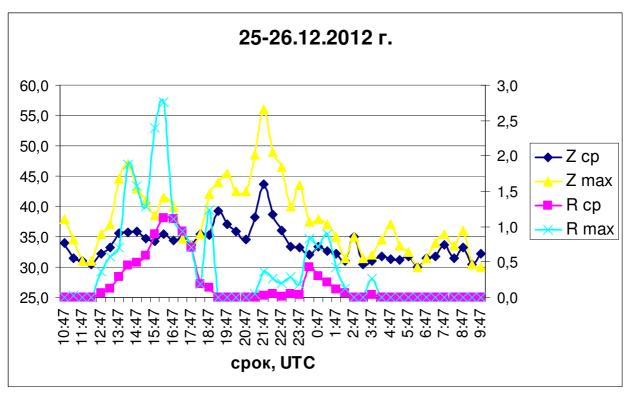


Рис. 4. Ход отражаемости и количества осадков в течение снегопада 25-26.12.2012 г.

Снегопад 30-31 января 2013 г. не дал существенного прироста высоты снежного покрова, количество осадков за сутки не превысило ни на одной из метеостанций 8 мм (рис. 5).

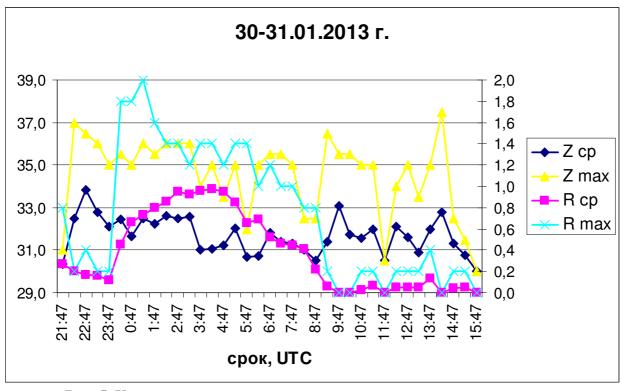


Рис. 5. Ход отражаемости и количества осадков в течение снегопада 25-30-31.01.2013 г.

По результатам моделирования наибольшая интенсивность снегопада отмечалась с 0:17 до 9:17 UTC (до 2 мм/ч). В остальное время отмечался слабый снег 0,2 мм/ч. Однако, значения радиолокационной отражаемости, как средней, так и максимальной, не имеют ярких пиков. Анализ метеорологических условий этого дня показал, что во второй половине дня 31 января на ряде станций территории исследования отмечалась оттепель до +1°C. Предположительно, именно этот факт привел к занижению результатов счета модели за счет отнесения осадков к жидкой фазе.

Работа выполнена при поддержке государственного задания вузу № 5.3425.2011.

#### Библиографический список

- 1. Калинин Н.А., Смирнова А.А. Определение водности и водозапаса кучево-дождевой облачности по информации метеорологического радиолокатора // Метеорология и гидрология, № 2. 2011. С. 30–43.
- 2. Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (шифр "ГИМЕТ-2010"). Руководство оператора. 623.02572456.01001-01 34 01. 2011.
- 3. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. РД 52.04.320-91. Л.: Гидрометеоиздат, 1993. 358 с.

### Геоинформационное моделирование снегонакопления на переходных участках от открытых территорий к залесенным

О. В.Сухова, Н. А. Калинин Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия oks1025@gmail.com

Растительный покров оказывает существенное влияние на накопление снега. Наиболее значимо это проявляется в лесных сообществах в зависимости от таких их характеристик, как породный состав, полнота, ярусность, возраст, сомкнутость лесного полога, а также метеорологических условий периода снегонакопления [1, 2]. При этом влияние лесной растительности на процесс перераспределения снега обусловлено тремя ведущими факторами:

- изменением характера снегонакопления на границе с открытыми пространствами;
  - снегозадержанием ветвями и последующим испарением с крон;
  - температурным режимом приземного слоя и напочвенного покрова.

В данной работе рассмотрен характер снегонакопления на границе открытого пространства и леса. Зону повышенного снегонакопления, возникающую со стороны поля под влиянием снегозадержания лесной растительностью и примыкающую к ней зону со стороны леса, испытывающую воздействие открытого пространства, будем называть переходной или буферной зоной (рис. 1). Ход снегонакопления в буферной зоне сильно отличается от хода снегонакопления в поле и в лесу и зависит от степени продуваемости лесных насаждений, направления и скорости ветра, характера рельефа, прилегающих открытых площадей, количества выпадающих зимних осадков и их распределения во времени, и других условий. Будучи весьма разнообразными в отдельные периоды, в целом эти условия таковы, что к концу зимы складывается вполне определенная картина залегания снежного покрова, определяемая небольшим числом факторов переменного значения, в первую очередь снежностью, ветровым и температурным режимом зимы [3, 4].

Задача учета снегонакопления внутри буферных зон сводится к определению наметаемого количества снега, представляющего избыток по сравнению с выпавшими за зиму твердыми осадками. А так как распределение происходит путем выдувания снега с открытых территорий и аккумуляции его в переходной зоне, то это количество при стандартных наблюдениях остается неучтенным. Снегомерные маршруты проходят в открытом поле, где снега меньше из-за сдува и таяния в оттепель, чем выпавших зимних осадков, и (или) в лесу, где количество снега меньше, из-за удержания кронами и испарения с них, либо равно количеству выпавших зимних осадков (в случае лиственного леса). Режим таяния снега, перераспределенного в лесную буферную зону, будет существенно отличаться от режима таяния его в поле. В

свою очередь на южных, инсолированных участках полей сугробы снега в буферной зоне со стороны поля хорошо видны даже на космических снимках среднего пространственного разрешения при отсутствии снежного покрова на самом поле, что свидетельствует об избыточном, по сравнению с полем, снегонакоплении в данной зоне.

Целью данной работы является расчет количества снега в буферных зонах и оценка его вклада в общее количество снегозапасов в лесах и на открытой территории.

Для работы выбран снегомерный маршрут в окрестности метеостанции Губаха, который проходит через участок смешанного и лиственного леса. Значения коэффициента снегонакопления для лиственных лесов приняты нами в качестве эталонных. Выбор эталоном именно лиственного леса определяется тем, что снегозапас в нем максимально близок к количеству выпавших зимних осадков.

Говоря о пространственной устойчивости показателей (без учета рельефа), следует отметить, что для территорий изменения суммы выпавших осадков в радиусе 50—100 км незначительны и не служат причиной неравномерного залегания снежного покрова [3]. Поэтому от точки заложения снегомерного маршрута, территория в радиусе около 20 км принимается нами как площадь однородного выпадения зимних осадков. Это приближение позволяет использовать простую интерполяционную модель для оценки значений плотности и высоты снега на территориях, расположенных между точками наблюдения.

В качестве исходной информации о характере подстилающей поверхности была использована составленная нами карта лесной растительности. Согласно описанию, представленному в паспорте метеостанции Губаха, в ее окрестностях снегомерный маршрут проходит в смешанном лесу (ель, тополь, береза) средней густоты. По составленной нами карте, соответствующий ему участок классифицирован как «лиственные молодые и приспевающие леса, часто разреженные и средне-низкобонитетные» в сочетании с классом «молодые лиственные древесные и кустарниковые насаждения, часто разреженные». В то же время, на высокодетальном космическом снимке (сервис Google) видно преобладание лиственных крон с фрагментарной примесью хвойных пород. Появление класса разреженных молодых лиственных лесов и кустарников связано со сложной формой границы лесопокрытых и открытых территорий, которая в совокупности с мелкокустарниковым обрамлением границы леса в масштабе космического снимка MODIS Terra (использовавшегося при составлении карты) дает смешанный переходный класс.

По степени влияния на характер накопления снежного покрова в буферной зоне 14 классов лесной растительности были сгруппированы в пять типов (рис. 2, табл.).

Ширина буферной зоны, как со стороны открытой территории, так и со стороны лесных насаждений по литературным данным [3, 5] не превышает 200 м. Многочисленные исследования процессов снегозадержания лесными полосами выявили, что характер распределения зоны повышенного снегона-

копления зависит от типа лесной растительности и наличия подлеска [6, 7]. Используемые длины буферных зон, а также коэффициенты снегонакопления сведены в таблицу и проиллюстрированы на рис. 1—2. Коэффициенты снегонакопления в лесных зонах и на открытых территориях приводятся по литературным данным, а коэффициенты снегонакопления в буферных зонах — по собственным полевым наблюдениям.

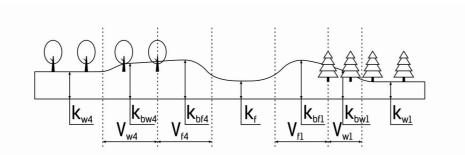


Рис. 1. Схема формирования неоднородностей снегозапаса в переходных зонах разных типов и принцип распределения коэффициентов:

 $k_{w1}$  и  $k_{w4}$  — коэффициенты снегонакопления 1- темнохвойного леса, 4 — лиственного леса;  $k_{bw1}$  и  $k_{bw4}$  — коэффициенты снегонакопления в буферной зоне соответствующих лесов;  $k_{bf1}$  и  $k_{bf4}$  — коэффициенты снегонакопления в буферной зоне открытой территории у границы соответствующих лесов;  $k_f$  — коэффициент снегонакопления на открытой территории;  $V_{w1}$ ,  $V_{f1}$ ,  $V_{w4}$ ,  $V_{f4}$  — ширина буферных зон

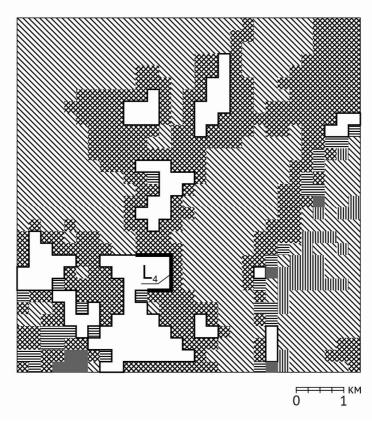


Рис. 2. Фрагмент карты лесной растительности L<sub>4</sub> — длинна границ контура лиственного леса и открытого пространства

#### Коэффициенты снегонакопления

Тип растительности		Ширина буферной зоны, <i>м</i>		Коэффициенты снего- накопления		
		со стороны открытой территории V <sub>fi</sub>	со стороны леса V <sub>wi</sub>	Вне зоны влияния открытого простран- ства, k <sub>f</sub> , k <sub>w</sub>	В буферной зоне со стороны открытого пространства, к <sub>ьw</sub>	В буферной зоне со стороны леса, к <sub>ь</sub> г
	Спелые и перестойные темнохвойные леса	100	50	0,63*	1,42	1,05
	Спелые и перестойные со-	100	150	0,78*	1,23	0,86
	Приспевающие, спелые и перестойные смешанные леса	100	50	1*	1,29	1,07
	Молодые лиственные и смешанные, часто разреженные леса	100	100	1*	1,43	1,31
	Заросли кустарников и редины	100	_	1,42	1,42	1,42
	Открытые пространства			0,66*		_

<sup>\* —</sup> литературные данные [3, 5]

Используя приведенные коэффициенты, можно рассчитать максимальные снегозапасы любого из 6 модельных типов, зная значение в одном из них, следующим образом:

$$SWE_{wi} = H_0 (S_{w0i} k_{wi} + S_{bwi} k_{bwi} - S_{bwi} k_{wi})$$

И

$$SWE_f = H_0 \left( S_{f0} \; k_f + \; S_{bfi} k_{bfi} \; - S_{bfi} \, k_f \right), \label{eq:SWEf}$$

где  $SWE_{wi}$  — снегозапас i-mozo типа лесной растительности, mm;  $SWE_f$  — снегозапас на открытой территории, mm;  $H_0$  — значение запаса воды в снежном покрове по данным снегомерного маршрута;  $k_{wi}$  — коэффициент снегонакопления в i-mom типе лесной растительности;  $k_{bwi}$  — коэффициент снегонакопления в буферной зоне в i-mozo типа лесной растительности;  $k_{bfi}$  — коэффициент снегонакопления в буферной зоне открытой территории у границы i-mozo типа лесной растительности;  $k_f$  — коэффициент снегонакопления на открытой территории;  $S_{bwi}$ ,  $S_{bfi}$  — площади зон повышенного снегонакопления со стороны открытого пространства и леса соответственно.

$$S_{bwi} = V_{wi}L_i,$$
  
$$S_{bfi} = V_{fi}L_i,$$

где  $L_i$  — длинна границ контура одного типа лесного сообщества и открытого пространства;  $V_{wi}$ ,  $V_{fi}$  — ширина соответствующих буферных зон.

В качестве  $H_0$  было принято среднее многолетнее максимальное значение запаса воды в снежном покрове на лесном маршруте метеостанции Губаха.

Количество снега в буферных зонах зависит от размера границы и для данной территории в районе переходных зон со стороны леса не превышает 3%.

Неоднородность залегания снежного покрова на открытых территориях выражена более явно, так как суммарная площадь не превышает 8% всей рассмотренной территории, поэтому вклад превышения в переходных зонах на отдельных участках достигает 10—15%.

Предлагаемый метод легко автоматизируется средствами ГИС технологий, что позволяет применить его для территории Пермского края в целом. Введенные в модель коэффициенты учитывают снегонакопление на границе лесных и открытых территорий, что позволяет рассчитать по значению одного компонента модели снегозапас для всех остальных компонентов.

Применение методов ГИС и данных дистанционного зондирования позволило более генерализованно взглянуть на картину распределения снега, в зависимости от типа растительности на его границах с открытыми пространствами.

Для обширных контуров (100000 *га* и более) уточнение снегозапасов происходит на уровне единиц процентов.

Для небольших ( $10000 \ \emph{га}$  и менее) со сложными извилистыми границами прибавка запаса за счет приграничного снегонакопления оценивается в первые десятки процентов.

Данная методика легко видоизменяется под разные классы лесной растительности, масштабируется и хорошо компонуется с традиционными моделями снегонакопления, построенными на основе ветрового перераспределения снега по элементам рельефа.

Метод дает возможность оценки накопления снега в переходных (буферных) зонах на границе лесных и открытых территорий, что позволяет включить его в качестве самостоятельного компонента в модель снегонакопления.

#### Библиографический список

- 1. Pomeroy J. W., Gray D. M., Hedstrom N. R. and Janowicz J. R. Prediction of seasonal snow accumulation in cold climate forests // Hydrological Processes, 2002, vol. 16, p. 3543—3558.
- 2. Winkler, R.D., Spittlehouse, D.L., Golding, D.L. Measured differences in snow accumulation and melt among clearcut, juvenile, and mature forests in southern British Columbia // Hydrological Processes, 2005, vol. 19 (1), p. 51—62.
- 3. Кузьмин П. П. Формирование снежного покрова и методы определения снегозапасов. Л., Гидрометеоиздат, 1960. 167 с.

- 4. Сухова О. В. Пространственно-временная изменчивость основных характеристик снежного покрова на территории Пермского края // Географический вестник. Перм. ун-т. 2012. № 3 (22). С. 64—71.
- 4. Дыгало В. С. Распределение снежного покрова на водосборе р. Медвенки // Труды Центрального института прогнозов. Вып. 134. 1961. С. 29—37.
- 5. Обидин А.А. Текущий прирост сосновых снегополос и снегонакопление // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 10 (96). С. 59—61.
- 6. Копанев И. Д. Климатические аспекты изучения снежного покрова. Л., Гидрометеоиздат, 1982. 237 с.

### Картографирование лесных ресурсов на разновременных картах XIX-XXI вв. (территория Пянтежской лесной дачи)

#### Е. С. Черепанова

Пермский государственный национальный исследовательский университет, ekatscher@gmail.com

Леса Пермского Прикамья стали эксплуатироваться с XV-XVI вв. с целью обеспечения топливным сырьем двух отраслей промышленности: солеваренной (с XV-XVI вв.) и металлургической (с XVIII в.). В конце XIX в. спрос на лес увеличивается не только как на топливо, но и как на товарное сырье, поэтому возникает крайняя необходимость учета лесного фонда территории Пермского Прикамья.

Металлургическая промышленность, расцвет которой на Урале пришелся на XVIII в., нуждалась в большом количестве топлива [1]. Для удовлетворения нужд развития металлургии были специально выделены горнозаводские леса для заготовки древесины и получения древесного угля и дров. Металлургическая промышленность Прикамья была вторым крупным потребителем древесины в бассейне Верхней и Средней Камы.

В начале XVIII на Урале впервые создано горное управление сибирскими заводами, начальником которого назначен В.Н. Татищев. К тому времени по берегам основных рек, прилегающих к территории Чердынского и Соликамского уездов, лес уже был вырублен для нужд выварочного производства [2]. Однако Татищев издает документ, который запрещает рубить леса, особенно молодые; также в документе особо отмечается то, что запрещено рубить лес на расстоянии пятнадцати верст от завода. Кроме того, особо отмечается, что лес рекомендовано рубить по «долям», на которые следовало разбивать леса вокруг заводов и уничтожать при рубке порубочные остатки. Также этот документ впервые запрещает рубить лес и на реках, а на уже вырубленных территориях следует организовывать посевы и посадки рощ, особенно вблизи рек.

Главным лесничим Пермского имения Строгановых на Урале в 1847 г. назначен А.Е. Теплоухов. На основе своих знаний, полученных сначала в «Школе земледелия, горных и лесных наук», организованной в Санкт-Петербурге Строгановыми, а затем в Тарандтской лесной академии в Германии, он приступил к созданию «правильного лесного хозяйства» - организации охраны лесов от пожаров, самовольных вырубок и расчисток земель под сельскохозяйственные угодья, к упорядочению лесопользования и проведению лесоустройства.

Серьезные трудности ожидали Теплоухова при проведении лесоустройства и организации лесного хозяйства в Пермском имении. Основной трудностью в инвентаризации лесного фонда и создании картографического материала являлось отсутствие геодезической основы. Ему пришлось выполнить работу по геодезической съемке разбросанных на огромной территории земель имения, используя при этом большое количество съемщиков не всегда

высокой квалификации, обучая их в процессе выполнения работ. При регулировании лесопользования А.Е. Теплоухову приходилось учитывать сопротивление крестьян, веками считавших лес своей бесплатной кладовой. Но он, при поддержке Строгановых, преодолел все трудности и добился завершения лесоустройства на площади 500 тыс. десятин (545 тыс. га) и организации лесного хозяйства лучшего в то время в России(\*).

В третьей главе своего труда [3] Теплоухов указывает, что «лесные чертежи должны быть четырех родов: основной, специальный, ситуационный и карта насаждений». «Карта насаждений представляет в уменьшенном виде всю лесную дачу, или отдельный участок, со всеми лесными насаждениями, угодьями, водами и прочими предметами, столь ясно и удовлетворительно обозначаемыми, чтобы имеющий ее в руках мог ознакомиться по ней с лесом заочно, не быв на самом месте. На карте насаждений показываются линиями, красками и знаками следующие предметы: межи..., состояние лесов и угодий в чужих дачах..., воды..., состояние почвы..., дороги..., крестьянские угодья..., состояние лесов, и именно: различие по породам, как чистых, так и смешанных насаждений, с показанием в последнем случае пропорции смешения пород; различие по возрастам; состояние густоты насаждений; различие по качеству или достоинству их; нахождение в лесу пустошей и обгорелых мест; обозначение словами, цифрами и буквами названий участков, делянок и даже всех отдельных насаждений...». Таким образом, на карты насаждений (рис. 1) [4] наносились типы лесов по хозяйствам: хвойные, сосновые и еловые, лиственные.

Отображались также вырубки, пашни, перелоги и сенокосы. Кроме того, картографированию подлежала степень увлажненности участка леса: сырой, сухой или болотистый. Например, характеризуется участок Пятежской лесной дачи, который включает в себя 1940,43 га, из них нелесных площадей 149,9 га (8%). Наибольшую площадь занимают лиственные леса (46%), далее идут еловые и сосновые (27,7 и 18,1% соответственно) [5]. Большинство картографических материалов лесной тематики XIX века в настоящее время хранятся в Пермском государственном архиве, в архиве Краеведческого музея г. Перми, в архиве Чердынского краеведческого музея.

Очевидно, что лиственные леса на данном участке являются производными лесами, объединяющими лесные насаждения, которыми сменяются леса коренного типа вследствие воздействия природных и антропогенных факторов. При этом изменяются состав, строение и продуктивность древостоев, лесорастительные условия и другие признаки коренных лесов. Коренными на данном участке являются таежные леса с преобладанием хвойных пород. Напрашивается вывод о том, что ранее, уже к 1865 г., леса на данном участке были сведены как минимум на 55% площади.

-

<sup>\*</sup> Чернов Н.Н., д.с.-х.н., профессор Государственного Уральского лесотехнического университета (г. Екатеринбург): из предисловия к репринтному изданию [3].

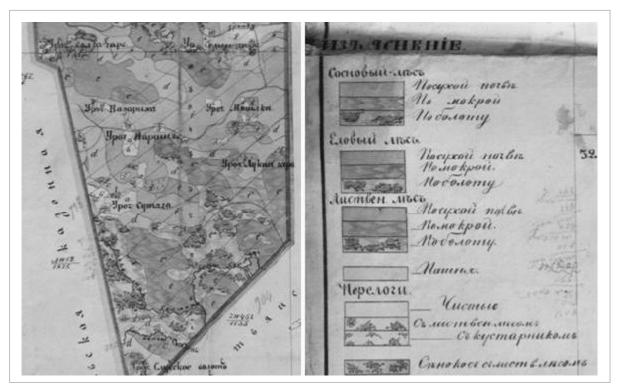


Рис. 1. Фрагмент «Плана лесонасаждений и легенды (изъяснения) на Пянтежскую казенную отрезанную из №12 дачи села Пянтега и проч. присоединенной к Урольской казенной лесной №196 даче. Съемка 1865 года» [4]

Анализ взаимоналоженных картографических слоев лесных угодий данной территории с карты 1865 г. и современного лесотаксационного описания [6, 7] показывает, что в настоящее время на данном участке преобладающей по площади породой является спелая сосна и приспевающая ель. Лиственных лесов незначительно, в них преобладает береза. На большей части территории лес вырублен, так как данные земли в настоящее время относятся к районам интенсивных лесозаготовок. Площадей, занятых пашнями и сенокосами, практически не осталось, так как район не заселен.

Таким образом, XVII-XIX вв. в истории Прикамья были веками коренных изменений ландшафтов, их природных и антропогенных преобразований, что не могло не сказаться на изменении других систем, в частности, пойменно-русловых комплексов, исследование которых заставило обратить взгляд на состояние лесных насаждений в исторический период освоения территории Пермского Прикамья.

#### Библиографический список

- 1. Чазов Б.А. География лесов Молотовской области и их хозяйственное значение: дис. канд. геогр. наук. Молотов, 1952. 461 с.
- 2. Попов Н.С. Хозяйственное описание Пермской губернии. Часть 1 и 2. Санкт-Петербург, Императорская типография, 1811. Ч. 1 395 с., Ч. 2 317 с.

- 3. Теплоухов А.Е. Устройство лесов в помещичьих имениях. Руководство для управителей, лесничих и землемеров. Санкт-Петербург, 1848. 256 с., с прил. Репринтное издание, Пермь, 2005 г.
- 4. Фондовые материалы Пермского государственного краевого архива. Губернии Пермской, Уезда Чердынского, Лесничества Березовского. План лесонасаждений из Пянтежской отрезанной из №12 дачи села Пянтега и прочей присоединенной к Урольской казенной лесной №196 даче. Съемка 1865 года.
- 5. Назаров Н.Н. Черепанова Е.С. Пойменно-русловые комплексы Пермского Прикамья. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2012. 158 с.: ил.
- 6. Фондовые материалы Центра геоинформационных систем ПГНИУ. Лесосырьевая база данных Пермского края, 2007-2008.
- 7. Фондовые материалы Центра геоинформационных систем ПГНИУ. «ГИС «Лесные ресурсы ОАО «Соликамскбумпром», 2008.

## Влияние тенденций развития дистанционного зондирования Земли на структуру информационных систем мониторинга природопользования

А. И. Пономарчук Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия, г. Пермь gis@psu.ru

#### Введение

Данные аэрокосмической съемки (дистанционного зондирования Земли, далее – ДЗЗ) традиционно используются в задачах топографического и тематического картографирования в качестве источника актуальной информации о местности. В определенном смысле аэрокосмический снимок является документом, отражающим точные (объективно подтвержденные) факты о действительности. Применимость таких «документов» при решении самых разных геопространственных задач ограничивается тремя основными факторами – стоимостью, качеством и частотой съемки.

Все эти факторы многоплановы и зависят от условий конкретной задачи. Например, понятие «стоимость» включает не только стоимость приобретения снимков, но и затраты на их передачу, предварительную обработку, дешифрирование и представление результата в виде, адекватном поставленной задаче. В свою очередь, каждый из перечисленных этапов подразумевает наличие определенных технических средств (компьютеры, программы обработки, сетевая инфраструктура и т.п.) и квалифицированных специалистов. Качество съемки зависит не только от физико-технических характеристик аппаратуры, но и от погодных условий, облачности, условий освещенности и т.п. Реальная частота съемки, т.е. возможности получения аэрокосмических снимков приемлемого качества, также зависит от природно-климатических условий. В частности, сильное влияние на возможность получения качественных снимков в оптическом диапазоне оказывает облачность и угол падения солнечных лучей на снимаемую поверхность.

#### Тенденции развития отрасли ДЗЗ

Указанные выше факторы естественно выделяют три категории задач, при решении которых используются данные ДЗЗ:

- 1) Чрезвычайные ситуации различного рода, т.е. фактически природные и техногенные катастрофы, требующие принятия быстрых решений на основе оперативного мониторинга ситуации. Здесь могут привлекаться значительные ресурсы, в том числе аэрокосмические снимки наилучшего доступного качества без учета их стоимости.
- 2) Плановая хозяйственная деятельность на сравнительно больших территориях, требующая общего мониторинга ситуации на протяжении нескольких недель, месяцев или даже лет. Типичные примеры лесозаго-

товительное и сельскохозяйственное производство, развитие паводков (без элемента чрезвычайности) и т.п. Для получения фактов о действительности могут снимки среднего, высокого и сверхвысокого разрешения, причем требования к частоте съемки не являются жесткими и допускают ожидание благоприятных съемочных условий в значительном временном диапазоне. Для ряда задач данной категории возможно использование бесплатных данных среднего разрешения (например, со спутников LANDSAT-5/7/8).

3) Мониторинг процессов глобального и регионального уровней, для которых характерны значительные пространственные масштабы. К данной категории относится мониторинг изменений растительности в течение сезона (временной масштаб — недели и месяцы) или от года к году (временной масштаб — несколько лет). Подобные проекты часто имеют исследовательский характер и, как правило, опираются на бесплатные данные среднего и низкого пространственного разрешения.

Таким образом, полностью за рамками применимости ДЗЗ оказались все сферы деятельности, требования к которым сводятся к фразе «наблюдать нужно часто, подробно и недорого». В этом ряду раннее обнаружение пожаров, выявление фактов несанкционированного размещения отходов, мониторинг дорожной обстановки, и в целом, – контроль и наблюдение над множеством явлений, не подпадающих под категорию «чрезвычайные ситуации».

Текущее положение в отрасли ДЗЗ напоминает период, непосредственно предшествующий переходу очередной технической новинки из категории «только для избранных» в категорию «доступно для всех» (личный автомобильный транспорт, персональные компьютеры, мобильная связь и т.п.). Так, после реализации проектов новых спутниковых систем съемки в самый ближайший период ожидается существенное снижение стоимости космических снимков оптического диапазона в 4-10 раз (см. [1]), что выглядит вполне правдоподобным. Только за прошедшие два года фактическая стоимость снимков с пространственным разрешением 0,7 м на пиксел снизилась более чем в три раза (с учетом инфляции и повышения качества снимков, получаемых с новых спутников).

Реальное снижение стоимости для большинства потребителей может оказаться намного более значительным. Например, программа e-CORCE (e-Constellation of Observation by Recurrent Cellular Environment – Группировка спутников постоянного наблюдения за Землей) предусматривает еженедельную съемку всей поверхности Земли с разрешением 1 м на пиксел. Такая перспектива открывает возможности для развития качественно новых сфер применения космической съемки, выходящих за пределы традиционных применений регионального уровня (примеры, см. [2]). Этому же способствует и создание группировок из спутников небольшого размера (мини-, микро- и нано-спутники), обеспечивающих высокую оперативность съемки заданных участков поверхности.

#### Влияние на структуру информационных систем

Перспективы расширения доступности данных ДЗЗ и повышения частоты их обновления должны учитываться при разработке и реализации проектов инфраструктуры пространственных данных (ИПД). Так, согласно утвержденным стандартам ([3], см. также [4]), цифровые изображения Земли (данные дистанционного зондирования) являются частью базовых пространственных данных (БПД) — авторитетной картографической основы, которая должна использоваться при создании любых геопространственных продуктов регионального уровня. Наличие регулярно обновляемых растровых покрытий (фотопланов) привнесет, по меньшей мере, следующие факторы:

- 1) Версионность растрового покрытия территории данными космической съемки и возможность исследовать процессы в ретроспективе.
- 2) Необходимость оперативной верификации новых данных с целью придания им статуса базовых пространственных данных.
- 3) Повышенные требования к стандартизации и автоматизации процессов, включающих получение новых данных, их обработку и преобразование к виду ортофотоплана, передачу предыдущих версий ортофотоплана на архивное хранение.
- 4) Повышенные требования к инфраструктуре пространственных данных (в частности, к геопорталам, поддерживающим их приложениям и системам управления базами данных), связанные со значительными объемами хранимых и передаваемых по сетям данных.

Иными словами, при разработке перспективных проектов ИПД следует смотреть вперед и ориентироваться на соответствующие масштабируемые средства обработки растровых данных – геоинформационные системы и системы управления базами данных корпоративного уровня. Важны также правильные организационные решения, которые должны обеспечить требуемый уровень оперативности при утверждении обновленных растровых покрытий в качестве эталона, т.е. части БПД соответствующего региона.

В рамках построения специализированных геоинформационных систем (ГИС) для задач мониторинга природопользования (сюда же примыкают задачи охраны окружающей среды и безопасности жизнедеятельности) на основе данных ДЗЗ рассмотренная выше ИПД рассматривается как внешний источник БПД, на которые накладывается тематическая информация. Как правило, доступным оперативным источником такой информации также являются данные ДЗЗ, получаемые на основе заказной съемки или из открытых источников. Здесь речь идет о специализированных данных, извлекаемых из материалов космической съемки с применением сложных алгоритмов, с участием компетентных предметных специалистов и т.п. В целом подготовка, интерпретация и представление результатов обработки тематической информации связано с исследовательскими работами и подразумевает значительный научный компонент.

Таким образом, при создании ГИС для задач мониторинга возникает два направления, требующие совершенно различных подходов.

- <u>1. Обеспечение БПД</u> (включая обновляемый ортофотоплан) территории. Выполняется в рамках создания региональной ИПД, включает нормативнозаконодательные, организационные и технологические элементы. Проект ресурсоемкий и требующий поддержки на уровне региональных органов государственной власти (ОГВ). Важнейшее значение здесь имеют плановая финансовая и организационная поддержка, создание и поддержание достаточно
  мощной информационно-технологической инфраструктуры.
- 2. Создание ГИС для мониторинга природопользования (подразумевая использование БПД в качестве картографической основы) территории. Это может быть один или несколько проектов, выполняемых в рамках исследовательских и/или коммерческих инициатив. Требования к ресурсам сравнительно (в сопоставлении с предыдущим направлением) невелики, приоритетное значение имеет научный компонент наличие и поддержка соответствующих кадров, возможность работы с открытыми данными и алгоритмами и т.п. Подобные проекты могут выполняться силами научно-образовательных, ведомственных и коммерческих организаций.

#### Выводы

Реализация первого направления невозможна без поддержки ОГВ, хотя бы в виде постепенного развертывания ИПД, начиная с отдельных пилотных проектов. Без решения данной задачи нельзя создать эффективные системы мониторинга природопользования на основе данных ДЗЗ – принципиальным ограничением является недостаточность и, что также важно, непостоянство ресурсной поддержки.

Второе направление вполне реализуемо в рамках более-менее независимых проектов. Тем не менее, при оценке перспектив и получаемых эффектов следует также иметь в виду зарубежный опыт использования открытых данных ДЗЗ (в первую очередь это снимки среднего разрешения со спутников серии LANDSAT, снимки низкого разрешения со спутников Terra, Aqua, Suomi NPP и т.д.). При условной бесплатности сырых спутниковых данных извлечение из них содержательной и практически полезной научной информации сопровождается непрерывным процессом научных разработок, создания и совершенствования алгоритмов обработки мультиспектральных данных. Такая работа проводится в университетах и научных лабораториях при регулярной финансовой поддержке со стороны государства. Запуск космических систем сопровождается развертыванием научных программ, реализуемых в течение всего жизненного цикла – примером является проект ІМАРР (International MODIS/AIRS Processing Package) и его последующее развитие IPOPP (International Polar Orbiter Processing Package). Итогами этих проектов (см., например, сайты [5] и [6]) являются алгоритмы, программы обработки и массивы обработанных данных ДЗЗ. В процессе доработки алгоритмов производится пересчет исходных сырых данных.

#### Библиографический список

- 1. Антикидис Ж.П. система наблюдения из космоса е-CORCE к Вашим услугам! // Земля из космоса наиболее эффективные решения. М.: ИТЦ «СКАНЭКС», 2012, № 12. С. 36-38.
- 2. Пьянков С.В., Пономарчук А.И., Шихов А.Н. Космический мониторинг Пермского региона // Земля из космоса наиболее эффективные решения. M.: ИТЦ «СКАНЭКС», 2013, № 16. С. 37-40.
- 3. ГОСТ Р 53339-2009. Данные пространственные базовые. Общие требования. Стандарт введен в действие с 01.01.2010.
- 4. Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации. Одобрена распоряжением Правительства РФ от 21 августа 2006 г. № 1157-Р.
- 5. Direct Readout Laboratory. URL: http://directreadout.sci.gsfc.nasa.gov/ (дата обращения: 30.10.2013).
- 6. IMAPP: International MODIS/AIRS Processing Package, version 1.1. URL: http://cimss.ssec.wisc.edu/imapp/ (дата обращения: 30.10.2013).

#### Научное издание

# ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Выпуск 6

Сборник научных трудов

Издается в авторской редакции

Подписано в печать 08.11.2013. Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 6,34. Тираж 100 экз.

Редакционно-издательский отдел Пермского государственного национального исследовательского университета 614990, Пермь, ул. Букирева,15

Отпечатано в ООО «Учебный центр «Информатика» 614990, Пермь, ул. Букирева,15