

## Распределенная ГИС для оценки запасов углерода в почвах бореальной зоны Западной Сибири

С. Я. КУДРЯШОВА, К. С. БАЙКОВ, А. А. ТИТЛЯНОВА, Л. Ю. ДИТЦ, Н. П. КОСЫХ,  
И. Д. МАХАТКОВ, С. В. ШИБАРЕВА

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
630099, Новосибирск, ул. Советская, 18  
E-mail: sya@issa.nsc.ru

### АННОТАЦИЯ

Распределенная ГИС, разработанная для оценки запасов почвенного углерода, включает электронные тематические слои “Растительность” и “Почвы” бореальной зоны Западной Сибири, средне-масштабные почвенные карты ключевых участков ландшафтных провинций, созданные по материалам дешифрирования космических снимков, и программное обеспечение для актуализации и управления базой данных “Углерод в почвах Сибири”. По предварительной оценке запас  $C_{\text{орг}}$  в почвах бореальной зоны составляет  $83,6 \cdot 10^8$  т – это 28,2 % запасов  $C_{\text{орг}}$  в почвах России или 15,2 % его мировых запасов.

**Ключевые слова:** запасы углерода, почвы, бореальная зона, Западная Сибирь.

**Обоснование актуальности исследования.** В решении проблем глобальных изменений климата оценка функциональной роли почвенного покрова приоритетна и актуальна. Почвы, как и растительный покров, признаются наиболее чувствительными к изменениям климата и, в свою очередь, могут оказывать воздействие на климатические изменения [1]. В значительной степени эти связи осуществляются через биогенный круговорот, масштабнее всего выраженный в цикле углерода. Согласно современным данным, запасы  $C_{\text{орг}}$  в наземных биоценозах мира оцениваются в 550 Гт, а в экосистемах России – 40 Гт. Резервуары  $C_{\text{орг}}$  России составляют 39,8 Гт в фитомассе лесов и 296 Гт в гумусе почв –

это 7,2 % углерода фитомассы и 19,7 % почвенного углерода в мире [2].

На территории России, как и в других странах севера Евразии, наибольший сток углерода отмечается в почвах и лесах бореальной зоны. По обобщенным оценкам Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, более 70 % углерода фитомассы и около 80 % углерода почв приходится на хвойные леса (табл. 1).

В представленном балансе очень существенна роль бореального биома Западной Сибири, почвенный покров которого характеризуется широким развитием торфяных и торфяно-болотных почв, отличающихся высоким и сверхвысоким – 180–800 т/га (по шкале уровней запасов  $C_{\text{орг}}$ ) – содержанием органического углерода. Наряду с высокоорганическими почвами значительный вклад в формирование общих запасов  $C_{\text{орг}}$  региона вносят мелкоотторфованные и минеральные почвы, которые занимают значительные площади и содержат ниже торфяного горизонт-

Кудряшова Светлана Яковлевна  
Байков Константин Станиславович  
Титлянова Аргента Антониновна  
Дитц Людмила Юрьевна  
Косых Наталья Павловна  
Махатков Игорь Дмитриевич  
Шибарева Светлана Васильевна

Запасы углерода в почвах различных климатических зон России (Г. А. Заварзин, В. Н. Кудеяров, 2006)

Зона	Площадь, млн га	Запасы $C_{\text{орг}}$ в слое почвы 0–100 см	
		т/га	Гт
Полярно-тундровая	181	106	19,2
Лесотундровая-северотаежная	233	168	39,4
Среднетаежная	238	219	52,0
Южно-таежная	237	262	61,9
Лесостепная	126	304	38,4
Степная	80	267	21,3
Сухостепная	28	100	2,8
Полупустынная	15	73	1,1
Всего	171,4		296,1

та от 4 до 10 кг/м<sup>2</sup>  $C_{\text{орг}}$ , что предполагает довольно высокие его запасы в минеральных горизонтах почв бореального биома в целом.

В общем виде запасы  $C_{\text{орг}}$  в почвах и фитомассе бореальной зоны могут быть представлены по данным вычислений углеродного пула в болотах Западной Сибири или по имеющимся картографическим и тематическим базам данных. Однако большая часть этих оценок выполнена с использованием карт мелкого масштаба для территорий, структурными единицами которых являются административные регионы или только болотных, без учета минеральных почв [3–7]. Поэтому основная задача исследования – создание интегрированной картографической основы растительного и почвенного покрова и совместимого с картографической основой программного обеспечения для тематической обработки специализированных баз данных по запасам  $C_{\text{орг}}$  в почвах и фитомассе. В структуре распределенной ГИС условно могут быть выделены блоки: 1 – электронные слои “Растительность” и “Почвы” бореальной зоны Западной Сибири, 2 – программные средства для актуализации и управления базой данных “Углерод в почвах Сибири”; 3 – среднемасштабные почвенные карты ключевых участков основных ландшафтных провинций Западной Сибири; 4 – макет электронной карты “Запасы  $C_{\text{орг}}$  в почвах бореальной зоны Западной Сибири”. В данной работе представ-

лены отдельные блоки пространственно распределенной ГИС.

**Электронные слои “Растительность” и “Почвы” бореальной зоны Западной Сибири.** Основным источником органической части почвы является растительность. Для преобладающего большинства наземных экосистем запас  $C_{\text{орг}}$  в почвах существенно зависит от продуктивности растительного покрова. В почвах бореальной зоны он закономерно увеличивается от подзолистых (2–3 %) к дерново-подзолистым и серым лесным (4–6 %) хвойно-мелколиственных лесов до 30–40 % в торфянистых и торфяных почвах заболоченных лесов и моховых болот. Поскольку существует тесная зависимость формирования запасов  $C_{\text{орг}}$  в почвах от типов фитоценозов, картографические и тематические слои созданы на основе генерализованной легенды карты “Растительность Западно-Сибирской равнины”, 1976, предоставленной для использования ЦСБС СО РАН. При разработке легенды данной мелкомасштабной карты (1 : 7 500 000) использованы два базовых иерархических уровня – подзональные особенности лесной растительности, распространенной на равнинах и низких плато, и единицы региональной размерности, представляющие доминирующие эколого-географические типы растительности или характерные сочетания нескольких экологически различных типов. Полная легенда включает 29 подразделений, объединенных в 5 катего-

рий. Электронный слой “Почвы” (1 : 7 500 000) является сопряженным с картой “Растительность” бореальной зоны Западно-Сибирской равнины и создан по единым принципам построения легенды, ее структуры, объема и содержания основных картируемых единиц, реализованных в карте растительности. Его легенда также включает 29 подразделений, объединенных в 5 категорий.

На территории исследования, как и в других биоклиматических зонах, типы растительности и биологического круговорота тесно связаны с типами почвообразования. Географически такая закономерность выражается в том, что зонам растительности соответствуют почвенные зоны с преобладанием определенного зонального типа почв. Подобную закономерность можно отчетливо проследить, сопоставляя содержание электронных карт почв и растительности (табл. 2).

В пределах зонально-подзонального деления также отмечена высокая степень соответствия границ и информационного содержания контуров почвенного и растительного покрова. Полученные в результате генерализации объединенные типологические выделения почв хорошо согласуются с типами и группами типов растительных сообществ. Например, в лесотундрово-северотоежной зоне значительные площади, занятые неупорядоченно-пятнистыми, бугорковато-кочкарниковыми, плоско-и крупнобугристыми почвенными комплексами, пространственно совмещаются с низкорослыми заболоченными лесами и редколесьями в сочетании с обширными массивами моховых болот. В этой же зоне на дренированных участках под темнохвойными лесами формируются иллювиально-гумусово-железистые, торфянисто- и торфяно-глеевые подзолы. В подзоне средней тайги широко представлены крупноконтурные сочетания грядово-мочажинных и грядово-озерковых комплексов торфяных почв и комплексов растительности олиготрофных сосново-кустарничково-сфагновых болот. В южной тайге локальным контурам темнохвойных и сосново-березовых травяно-моховых лесов соответствуют специфичные для региона дерново-глубокоподзолистые со вторым гумусовым горизонтом почвы, а для подтайги характерны мелкоконтурные сочетания и комплексы серых лесных почв с березовыми и оси-

новыми травяными лесами. Предполагается, что установленное соответствие границ и информационного содержания контуров почв и растительности на созданных электронных картах в дальнейшем будет использовано для описания современного географического и временного распределения запасов и потоков углерода в экосистемах бореальной зоны.

**Актуализация базы данных “Углерод в почвах Сибири”.** Расчеты запасов  $C_{орг}$  проведены на основе базы данных “Органический углерод”, которая включает величины содержания гумуса в 5850 и объемной массы в 2300 разрезах почвенного покрова Сибири. Дополнительно создан специализированный блок данных по содержанию гумуса в почвах бореальной зоны, который включает большой массив собственных и литературных данных, полученных по результатам исследований за последние 15 лет. База данных “Органический углерод в почвах бореальной зоны” в настоящее время включает 480 величин содержания гумуса и объемной массы в 70 разрезах почвенного покрова бореальной зоны Западной Сибири. Каждый разрез имеет координатную привязку к соответствующему контуру почвенного и растительного покрова.

**Среднемасштабные почвенные карты ключевых участков основных ландшафтных провинций Западной Сибири.** В исследованиях по оценке запасов  $C_{орг}$  большое значение имеют материалы детального дешифрирования, выполненные в рамках экосистем, типичных ландшафтов и природных комплексов с учетом пространственных характеристик территории и свойств почв. Отработка использования дистанционной информации для оценки запасов  $C_{орг}$  проведена на ключевых участках, расположенных в пределах ландшафтных провинций бореальной зоны. Выделение типологических регионов проводилось с учетом принципов ландшафтного районирования. Сущность метода заключается в сопряженном анализе региональных структур, объективно отражающихся на космических снимках и фиксируемых на ландшафтно-типологических картах. Индивидуальные геоморфологические единицы выделены на космических снимках как обособленные по закономерной композиции структурных элементов и по отчетливо дешифрирующимся

## Соотношение единиц легенды электронных карт “Растительность” и “Почвы” бореальной зоны Западной Сибири

Единицы легенды	По карте растительности Западно-Сибирской равнины, 1976	По почвенной карте РФ, 1989, в синонимике Классификации почв РФ, 2004 г.
1	2	3
1	Лиственничные и елово-лиственничные редколесья	Комплексы бугорково-кочкарниковых тундровых глеевых торфяно-перегнойных почв и почв пятен
2	Ерниковые тундры с лиственничными редколесьями и плоскобугристыми болотами	Комплексы неупорядоченно-пятнистых тундровых и таежных глеевых торфянисто-перегнойных, глеевых недифференцированных почв и почв пятен
3	Кустарничково-осоково-моховые, лишайниковые и валиково-полигональные комплексные болота	Комплексы полигонально-валиковых торфяно-болотных, тундровых глеевых торфянистых и торфяных почв и почв мерзлотных трещин
4	Лиственнично-еловые и еловые зеленомошно-лишайниковые и зеленомошные редкостойные леса с ерnikово-сфагново-лишайниковыми плоскобугристыми болотами	Глееземы таежные и глееземы слабogleевые дифференцированные
5	Лиственнично-елово-кедровые лишайниково-зеленомошно-кустарничковые леса с кедрово-березовыми вторичными лесами	Глееземы и слабogleевые дифференцированные торфянистые и оподзоленные таежные
6	Сосновые с кедром и лиственницей лишайниковые леса с кустарничково-сфагновыми болотами	Подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые
7	Лиственничные и елово-лиственничные редкостойные леса с плоско- и крупнобугристыми болотами	Глееземы торфянистые и торфяные
8	Лиственничные и елово-лиственничные лишайниково-мохово-кустарничковые зеленомошные и редкостойные леса	Комплексы неупорядоченно-пятнистых таежных глеевых торфянисто-перегнойных, глеево-дифференцированных почв и почв пятен
9	Лиственнично-сосновые лишайниково-зеленомошно-кустарничковые леса в сочетании с сосновыми лишайниковыми лесами и кустарничково-мохово-лишайниковыми крупнобугристыми болотами	Подзолы иллювиально-железистые
10	Кустарничково-мохово-лишайниковые плоскобугристые комплексные болота	Плоско- и крупнобугристые комплексы торфяных болотных верховых и переходных болотных деградующих (минерализующихся) почв
11	Лишайниково-сфагновые-плосковыпуклые олиготрофные болотно-озерные комплексы	Грядово-мочажинные и озерковые болотные комплексы верховых и переходных торфяных болотных почв
12	Елово-кедрово-долгомошные и кустарничково-сфагновые леса с кустарничково-сфагновыми олиготрофными болотами	Торфяно-подзолисто-глеевые
13	Сосновые и березово-сосновые леса с олиготрофными болотами	Торфяные олиго- и эутрофные
14	Сфагновые сосново-кустарничковые олиготрофные выпуклые болота с сосной и кедром на грядах и сфагновыми мочажинами и сосново-кустарничково-сфагновые олиготрофные болота	Торфяные олиготрофные

1	2	3
15	Осоково-гипновые и травяные евтрофные болота	Торфяные эвтрофные
16	Пихтово-еловые с участием березы, осины и неморальных видов в сочетании с влажными широколиственными лесами	Дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом и дерново-подзолисто-глеевые
17	Лесокустарниково-сорово-луговая растительность пойм Оби	Аллювиальные и комплексы пойменных заболоченных почв

природным и антропогенным факторам дифференциации почвенного покрова.

Среднемасштабные почвенные карты ключевых участков созданы по материалам дешифрирования космических снимков Landsat с последующей векторизацией в ArcGis. Для целей среднемасштабного картографирования использовали ландшафтно-индикационный метод дешифрирования, на основе которого получены дешифровочные признаки: прямые – рисунок изображения, отражающий структурные формы рельефа, и косвенные – спектрональные характеристики изображения, отражающие характер растительного покрова (табл. 3).

По рисунку изображения выделены контуры комплексов, или сочетаний почв, имеющие четко выраженные границы. При дешифрировании болотных образований, специфичность которых тесно связана с ландшафтной структурой территории, в качестве прямых дешифровочных признаков использованы: конфигурация болот, степень слитости или изолированности мезоландшафтов болотных систем, которые отражаются на классифицированном снимке в виде отдельных контуров, и др.

В структуре распределенной ГИС почвенные карты ключевых участков являются ба-

зовым информационным слоем, в котором закономерности функциональных и корреляционных связей природных объектов (в нашей работе почвы – растительность) остаются тождественными с переходом от одного масштаба к другому. Установленные индикационные связи рельеф – растительность – почвы позволили интерпретировать распределение почв на ключевых участках ландшафтных провинций бореальной зоны (рис. 1).

В соответствии с принципами ландшафтно-географического районирования, на территории исследования выделяется 17 ландшафтных провинций, расположенных в лесотундровой, лесоболотной и сосново-мелколиственной зонах. Ландшафтные провинции, в границах которых находятся ключевые участки, относятся к северной, средней и южно-таежной ландшафтным подзонам лесоболотной зоны [8, 9].

В подзоне северной тайги выделены ключевые участки: Обско-Тазовский – лиственничных, лиственнично-елово-кедровых и сосновых лесов, нередко редкостойных, с обширными массивами плоско-бугристых и грядово-мочажинных болот на тундрово-глеевых почвах и глееземах; Сибирско-Увальский (Сургутское полесье) – пихтово-еловых и

Т а б л и ц а 3

## Индикационные признаки дешифрирования почв бореальной зоны

Тип рельефа	Тип растительности	Преобладающие почвы
Дренированные водоразделы рек	Лиственнично-ерниково-лишайниковое редколесье	Глееземы тундровые оподзоленные
Вершины увалов	Кустарничково-лишайниковая	Глееземы тундровые иллювиально-железистые
Дренированные мезоповышения	Ерниково-мохово-лишайниковая	Глееземы перегнойные
Термокарстовые мезопонижения	Кустарничково-моховая	Торфяные болотные верховые
Межувальные понижения	Кустарничково-лишайниково-моховая	Торфяно-глееземы
Долины рек	Травяно-моховая	Аллювиальные дерново-глеевые

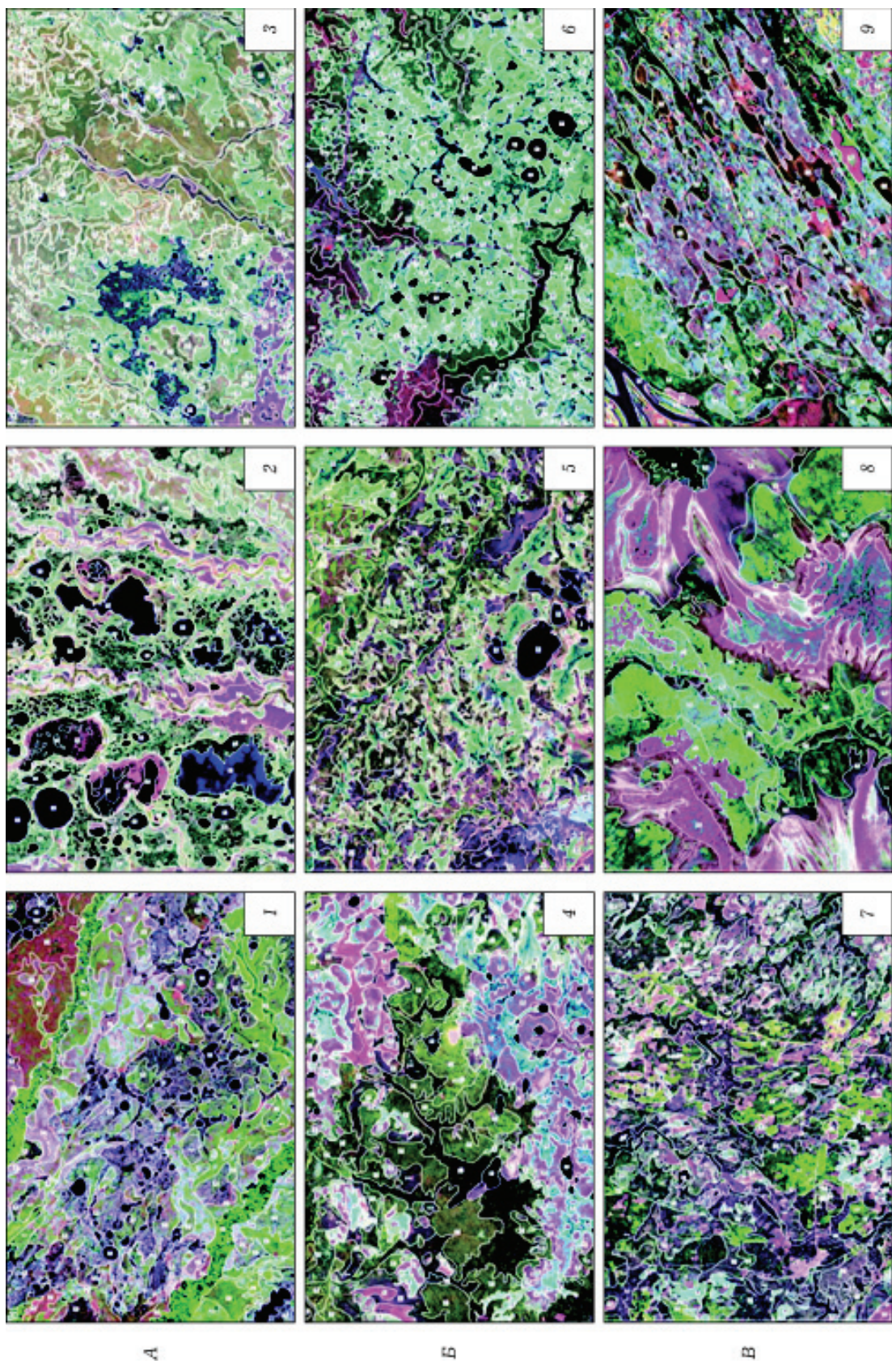


Рис. 1. Среднемасштабные почвенные карты ключевых участков ландшафтных провинций бореальной зоны Западной Сибири, созданные на основе дистанционных исследований. А – северная тайга: 1 – Обско-Тазовская, 2 – Сибирских Увалов, 3 – Верхнегазовская. Б – средняя тайга: 4 – Северо-Сосьвинская, 5 – Кондинская, 6 – Среднеобская. В – южная тайга: 7 – Нижнегобольская, 8 – Васюганская, 9 – Чулымно-Енисейская

лиственнично-еловых лесов с выпуклобугристыми, мочажинно-рядовыми и травяными болотами на подзолах и подзолисто-глееватых почвах; Верхнетазовский – крупные болотные массивы отсутствуют, под лиственничными лесами и лиственнично-елово-кедровой тайгой формируются глеево-мерзлотно-таежные и глеево-подзолистые почвы.

В подзоне средней тайги выделены ключевые участки: Северо-Сосьвинский – значительные площади заняты верховыми болотами, под лиственнично-сосновыми лесами и рябовыми редколесьями формируются глеево-подзолистые почвы; Кондинский – обширные площади занимают безлесные торфяники с сосновыми рядами, рядово-мочажинными и низинными болотами, под сосновыми борами формируются иллювиально-железистые подзолы; Среднеобской – наиболее типичны верховые сфагновые рядово-мочажинные и низинные болота, под сосновыми борами и темнохвойными лесами формируются подзолистые почвы.

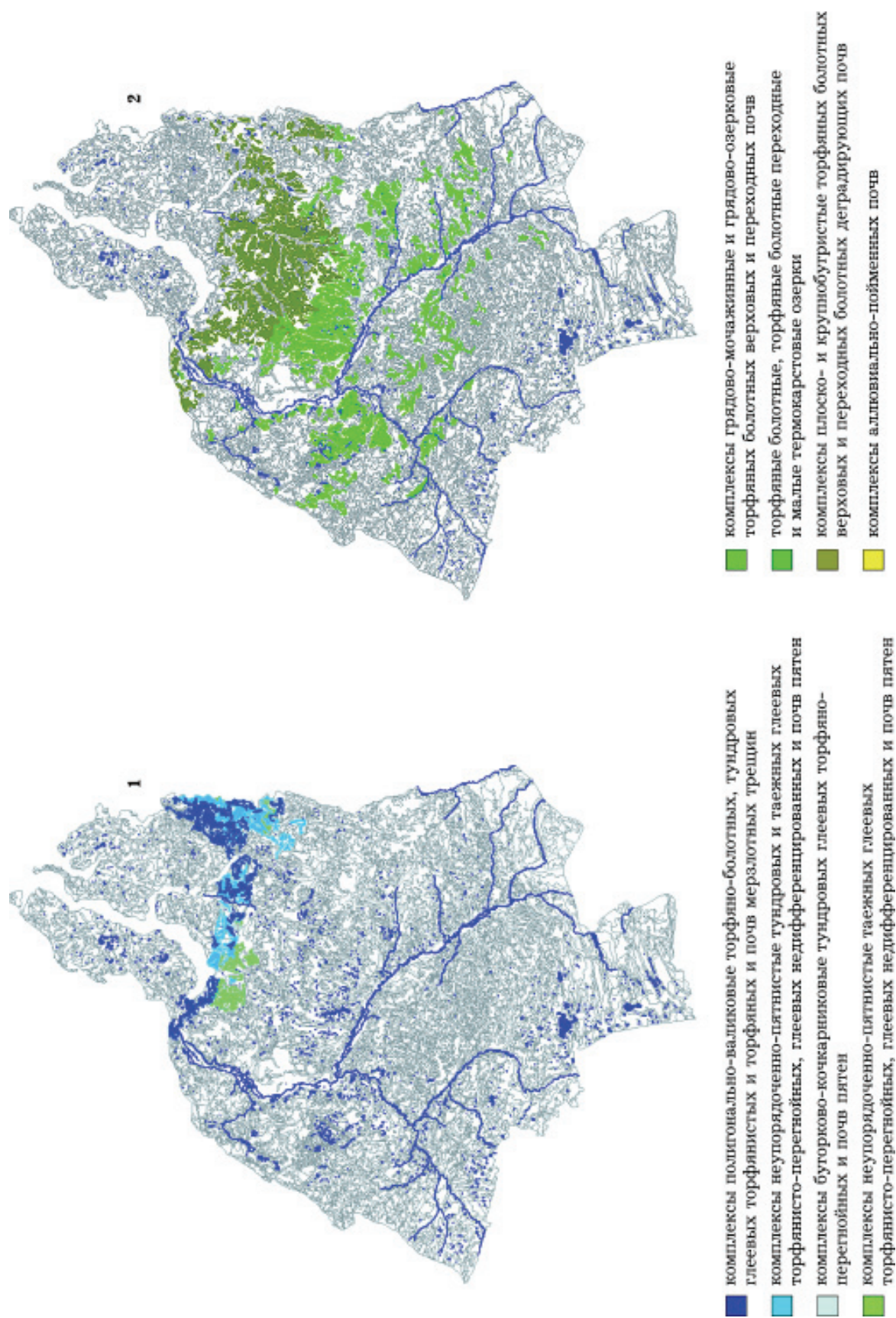
В подзоне южной тайги выделены ключевые участки: Нижнетобольский – значительные площади занимают верховые и низинные болота, под березовыми лесами формируются дерново-подзолистые и серые лесные почвы; Васюганский – обширные площади занимают верховые и переходные рядово-мочажинные болота, под темнохвойной тайгой и заболоченными березняками формируются дерново-подзолистые и подзолисто-болотные почвы; Чулымско-Енисейский – под темнохвойными южно-таежными лесами и сосняками формируются дерново-подзолистые, а под парковыми березовыми и березово-осиновыми лесами – серые и серые лесные глееватые почвы.

По мнению исследователей бюджета углерода в экосистемах бореальных лесов как в нашей стране, так и за рубежом, к основным факторам, приводящим к значительной неопределенности в описании цикла углерода, относятся неточности в определении типологии и площадного соотношения единиц дифференциации почвенно-растительного покрова [10–13]. Поэтому специальной задачей нашего исследования была коррекция границ и информационного содержания почвенных контуров на основе космических снимков на локальном уровне, а также в

пределах ландшафтных зон, подзон и провинций.

**Примеры использования материалов дистанционных исследований для оценки запасов  $S_{орг}$ .** Особенности формирования запасов  $S_{орг}$  в почвах бореальной зоны в значительной степени обусловлены ее экосистемным строением. В пределах региона автоморфные ландшафты занимают около 40 % общей площади, а на остальной территории почвенно-растительный покров формируется в гидроморфных или относительно дренированных условиях. Доминирующим компонентом бореальной зоны являются почвенные комплексы – наиболее сложные структуры почвенного покрова, в которых наблюдается чередование резко различающихся почв, взаимосвязанных в генезисе и создающих специфические ландшафтные образования. По данным цифровой обработки почвенной карты и дешифрирования космических снимков на территории исследования выделены лесотундрово-таежные, таежные, аллювиально-пойменные и болотные комплексы почв (рис. 2). Они занимают более 20 % площади региона, а в границах отдельных выделов площади контуров почв, входящих в их состав, варьируют в очень широких пределах (табл. 4).

В исследованиях по оценкам запасов  $S_{орг}$  для получения площадей почвенных контуров используются в основном два методических подхода – разделения по трапециям и оцифровка. Имеется довольно много оценок запасов  $S_{орг}$  для разных биомов мира, в том числе и в нашей стране, которые получены путем распределения картографической основы по трапециям, сеть которых в зависимости от задач исследования имеет разную степень дробности [14, 15]. При данном подходе простые, или однородные, контуры выделяются в том случае, если доминирующий тип почвы занимает более 85 % площади контура. Контур, отображающий неоднородный почвенный покров, в котором преобладающая почва занимает менее 85 % площади, подразделяется на сочетания почв, соответственно их площадь распределяется пропорционально. При использовании такого метода расчета значительная часть почвенных контуров, имеющих самостоятельное экологическое значение, но занимающих не-





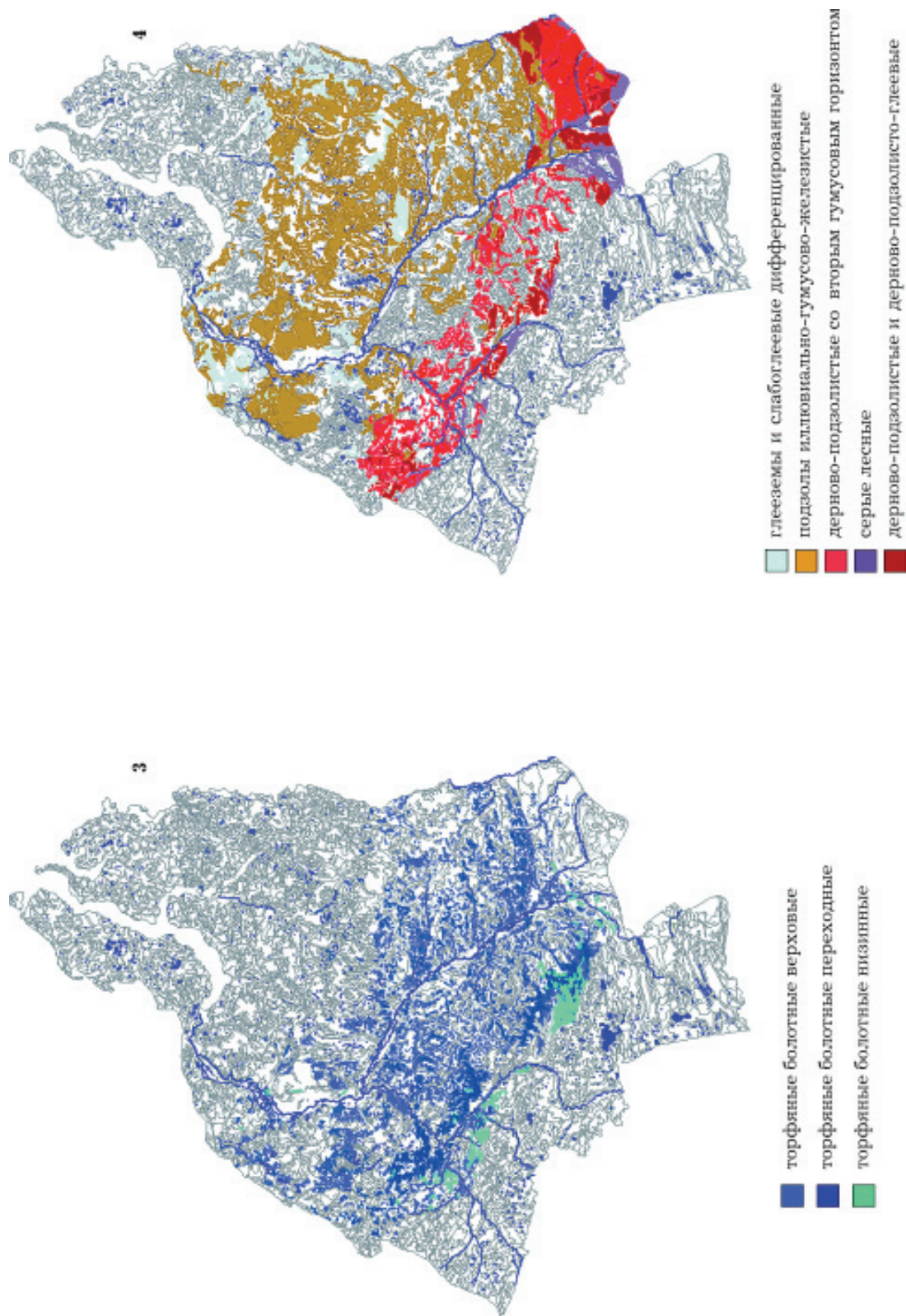


Рис. 2. Пространственное распределение: 1 – комплексов почв лесотундрово-таежных, 2 – комплексов почв таежных, 3 – торфяно-болотных почв, 4 – авто- и полутидроморфных почв в границах бореальной зоны Западной Сибири

## Площади почвенных комплексов и диапазон значений площадей входящих в их состав контуров почв

Комплексы почв, отраженные на почвенной карте РФ М 1 : 2 500 000	Площади контуров по оцифровке	
	тыс. га	min-max
<i>Лесотундрово-таежные</i>		
Бугорково-кочкарниковые тундровых глеевых торфяно-перегнойных и почв пятен	3902,9	186,6–1819,3
Неупорядоченно-пятнистые тундровых и таежных глеевых торфянисто-перегнойных, глеевых недифференцированных и почв пятен	3133,2	361,5–1447,3
Неупорядоченно-пятнистые таежных глеевых торфянисто-перегнойных, глеево-дифференцированных и почв пятен	1572,1	161–9162,8
<i>Болотные</i>		
Плоско- и крупнобугристые торфяных болотных верховых и переходных болотных деградирующих (минерализующихся) почв	10711,3	161–9162,8
Грядово-мочажинные и грядово-озерковые торфяных болотных верховых и переходных почв	16181	283,1–8137,8

большие площади, не будет учитываться в общей оценке. В соответствии с данными, приведенными в табл. 4, мелкие и средние контуры торфяно- и торфянисто-перегнойных и торфяных болотных переходных почв следует относить к тундрово-глеевым и тундрово-глеевым дифференцированным, которые заметно отличаются по показателям мощности горизонтов, объемной массы, содержания углерода, что вносит определенную ошибку в оценку общего запаса  $C_{орг}$ .

Второй подход вычисления площадей с использованием технологий ГИС дает возможность получать более точные оценки и в настоящее время широко используется для изучения бюджета углерода [16–18 и др.]. В нашей работе на основе цифровой обработки и дешифрирования космических снимков получены площади почв лесотундрово-таежных комплексов, которые не приводятся в сводке к Почвенной карте РФ М 1 : 2 500 000. Кроме того, откорректированы контурные границы и содержание некоторых почвенных контуров, занимающих обширные площади (табл. 5). Например, торфяно-болотные переходные и торфяно-болотные деградирующие, находящиеся в составе комплекса крупнобугристых болот, вследствие того, что их площади не определены, отнесены к болотным верховым плоско-бугристого комплекса, площади которых по данным оцифровки крайне незначительны.

Полученные площади в дальнейшем будут использованы для оценки вклада почвенных комплексов и отдельных типов почв в общий запас  $C_{орг}$ . По предварительным данным наиболее высокий вклад в общий запас  $C_{орг}$  вносят комплексы почв грядово-мочажинных и грядово-озерковых торфяных верховых и переходных болот, а также крупнобугристых и деградирующих торфяников, которые формируют более 30 % общего запаса  $C_{орг}$  региона.

При сравнении площадей почв, не входящих в состав комплексов, необходимо сделать пояснение. Площади бореального биома, полученные методом палетки и по данным оцифровки, различаются несущественно, следовательно, различия в площадных оценках в основном связаны с принципами разделения или объединения почвенных контуров. Особое внимание следует обратить на высокоорганогенные почвы, которые формируют основной запас  $C_{орг}$ . По данным, приведенным в табл. 6, площади торфяных болотных переходных и торфяных болотных верховых почв, полученные методом наложения палетки и по оцифровке, существенно различаются, хотя в общей сложности довольно близки. Что касается зональных почв, то наиболее значимые различия получены для подзолов иллювиально-железистых малогумусовых. По оцифровке их площадь практически в 2 раза больше, чем в

## Площади комплексов почв бореальной зоны по данным, полученным методом наложения палетки и оцифровки

№ п/п	Комплексы почв, отображенные		Площадь, тыс. га	
	на почвенной карте РФ М 1 : 2 500 000	в синонимике Классификации почв России, 2004 г.	по методу наложения палетки	по оцифровке
1	2	3	4	5
1	Арктотундровые перегнойно-глеевые, почвы пятен и тундровые глеевые торфянистые и торфяные	Комплексы бугорково-кочкарниковые тундровых глеевых торфяно-перегнойных и почв пятен	Н. д.	571
2	Тундровые глеевые торфяные, торфянисто- и торфяно-глеевые, болотные и почвы пятен		»	1819,3
3	Тундровые глеевые торфянисто-перегнойные, тундровые глеевые торфянистые и торфяные		»	927,1
4	Тундровые поверхностно-глеевые дифференцированные торфянисто-перегнойные и тундровые глеевые торфянистые и торфяные		»	398,9
5	Подбуры тундровые (без разделения), тундровые глеевые торфянистые и торфяные и почвы пятен		»	186,6
Всего				3902,9
6	Тундровые поверхностно-глеевые дифференцированные, тундровые глеевые торфянисто-перегнойные и почвы пятен	Комплексы неупорядоченно-пятнистые тундровых и таежных глеевых торфянисто-перегнойных, глеевых недифференцированных и почв пятен	»	1324,4
7	Таежные глеевые и глеевые недифференцированные и почвы пятен		»	1447,3
8	Таежные глеевые гумусово-перегнойные и почвы пятен		»	361,5
Всего			»	3133,2
9	Торфянисто- и торфяно-глеевые болотные, тундровые глеевые торфянистые и торфяные и почвы мерзлотных трещин	Комплексы полигонально-валиковые торфяно-болотных, тундровых глеевых торфянистых и торфяных и почв мерзлотных трещин	»	264,7
10	Таежные глеевые торфянисто-перегнойные и почвы пятен	Комплексы неупорядоченно-пятнистые таежных глеевых торфянисто-перегнойных, глеево-дифференцированных и почв пятен	98,5	403,9
11	Таежные глеево-дифференцированные и почвы пятен		23,8	1168,2
Всего			122,3	1572,1
12	Торфяные болотные верховые и торфяные болотные деградирующие (минерализующиеся)	Комплексы плоско- и крупнобугристые торфяных болотных верховых и переходных болотных деградирующих (минерализующихся) почв	6297,4	161,0

1	2	3	4	5
13	Торфяные болотные переходные и торфяные болотные деградирующие (минерализующиеся)		11 687	9162,8
14	Торфяные болотные переходные и торфянистые болотные деградирующие минерализующиеся		Н. д.	1387,5
Всего			17 984,4	10 711,3
15	Торфяные болотные верховые и переходные	Комплексы грядово-мочажинных и грядово-озерковых торфяных болотных верховых и переходных почв	7176,5	7411,3
16	Торфяные болотные переходные и низинные		259	283,1
17	Торфянистые болотные переходные и низинные		258	348,8
19	Торфяные болотные и переходные, малые термокарстовые озера		7693,5	8137,8
Всего			15 387	16 181

Примечание. Здесь и в табл. 6 Н. д. – нет данных.

пояснительной сводке, хотя, например, площади подзолов иллювиально-гумусовых и иллювиально-железистых многогумусовых, по данным сводки и полученные по оцифровке, практически не различаются. Зональные подзолы занимают около 10 % бореальной зоны, и, хотя отличаются низким содержанием органического углерода, их значение в углеродном бюджете региона весьма велико. Оценки запасов  $C_{орг}$  в природных комплексах средней тайги показали, что от 4 до 10 % запасов формируется за счет подзолов.

**Оценка  $C_{орг}$  в почвах ландшафтных провинций.** В границах ландшафтных провинций запасы  $C_{орг}$  формируются в тесной зависимости от типологии и площадного соотношения типов почв. Вклад отдельных ландшафтных провинций в общий запас  $C_{орг}$  региона значительно определяется величиной ее площади. По данным оцифровки, площади ландшафтных провинций бореальной зоны могут различаться в 5–8 раз (табл. 7).

Условно, по занимаемой площади, ландшафтные провинции можно разделить на группы: 1 – Нижнеобская, Надым-Пурская, Енисейско-Тазовская, Подуральская, площадь которых составляет 2,4–3,6 % от общей площади; 2 – Сибирских Увалов, Нижнетобольская, Северо-Сосьвинская – 5,3–5,5 %; 3 – Кондинская, Чулымо-Енисейская, Верхнетазовская – 6,1–8,8 %; 4 – Приенисейская, Обско-Тазовская, Васюганская, Среднеобская – 10,7–16,2 %. Максимальные запасы  $C_{орг}$  сосредоточены в наиболее крупных по занимаемой площади провинциях – Васюганской и Среднеобской (63 % запаса

$C_{орг}$  ландшафтных провинций). Рассмотрим возможности использования площадей почвенных контуров, полученных по данным оцифровки и дешифрирования, для оценки запасов  $C_{орг}$  на примере ключевого участка Среднеобской ландшафтной провинции. В почвенном покрове ключевого участка широко представлены разной степени мощности торфяные болотные верховые почвы (табл. 8). Общий запас углерода в почвах ключевого участка – 751,2 т на выдел. Почвы верховых торфяников занимают 53 % от общей площади. Их вклад в бюджет углерода составляет более 82 %. Торфяные и торфянистые почвы низинных болот формируют 11 % от общего запаса  $C_{орг}$ . Вклад остальных почвенных типов около 3 %.

В почвенном покрове ландшафтной провинции, как и на ключевом участке, основные площади занимают торфяно-болотные почвы (26 %), которые в основном представлены мощными (1–5 м) верховыми торфяниками, включающими 25 % запасов  $C_{орг}$ . Из минеральных почв наиболее высоким уровнем запасов  $C_{орг}$  характеризуются высокогумусовые (до 10 % гумуса) дерново-глеевые почвы, которые занимают 6 % общей площади и содержат 12 % общего почвенного углерода. Значительные массивы (7,3 %) занимают зональные иллювиально-гумусовые и иллювиально-железистые подзолы, в которых, несмотря на относительно низкое содержание гумуса, в общей сложности формируется 7 % общего запаса  $C_{орг}$ . Другие почвенные типы, занимающие менее 3 % общей площади, вносят от 1,5 до 5 % в общий запас  $C_{орг}$ .

**Площади органогенных, полугидро- и автоморфных почв, преобладающих в бореальной зоне,  
по данным, полученным методом наложения палетки и оцифровки**

№ п/п	Комплексы почв, отображенные		Площадь, тыс. га	
	на почвенной карте РФ М 1 : 2 500 000	в синонимике Классификации почв России, 2004 г.	по методу наложения палетки	по оцифровке
	Торфяные болотные переходные	Торфяные олиго- и эу-трофные	9481,2	14809,5
	Торфяные болотные верховые	Торфяные олиготрофные	10 725,8	6709,6
	Торфяные болота низинные	Торфяные эутрофные	2516,5	2333,5
1	Таежные глеевые гумусово-перегнойные (глееземы слабogleевые гумусово-перегнойные таежные)	Глееземы перегнойные и оподзоленные	Н. д.	2488,6
2	Таежные глеевые и глееватые недифференцированные (глееземы таежные)		6116,1	612,6
3	Таежные глеево-дифференцированные (глееземы слабogleевые дифференцированные, в том числе оподзоленные таежные)		Н. д.	8575,6
Всего			6116,1	11676,8
5	Подзолы иллювиально-гумусовые (подзолы иллювиально-многогумусовые)	Подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые	6535,6	5524,4
6	Подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые без разделения (подзолы иллювиально-мало- и многогумусовые)		4008,6	5370,3
Всего			10544,2	10894,7
7	Подзолы иллювиально-железистые (подзолы иллювиально-малогумусовые)	Подзолы иллювиально-железистые	5592,9	10399,6
8	Торфянисто- и торфяно-болотные (глееземы торфянистые и торфяные)	Глееземы торфянистые и торфяные	4366,1	2492
12	Торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые	Торфяно-подзолисто-глеевые	6027,3	8652,3
13	Подзолы глеевые торфянистые и торфяные, иллювиально-железистые		7872,6	9711,9
Всего			13 899,9	18 364,2
18	Дерново-подзолистые, мелко- и неглубокоподзолистые	Дерново-подзолистые и дерново-подзолисто-глеевые	Н. д.	35,7
19	Дерново-подзолистые, неглубокоподзолистые		»	119,9
20	Дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом, преимущественно глубокие		1402,6	2390,6
21	Дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом глубокоглееватые глубокие		2056,1	4340
22	Дерново-подзолисто-глеевые со вторым гумусовым горизонтом		3526,3	5019,9
23	Светло-серые со вторым гумусовым горизонтом		Н. д.	117,8
Всего			6985	12 023,9
	Серые лесные	Темно-серые и серые	2022	1357,7
	Темно-серые лесные		Н. д.	1008,9
	Серые лесные осолоделые		1137,3	551,4
	Серые лесные со вторым гумусовым горизонтом		Н. д.	122,8
	Серые лесные глееватые и глеевые		»	14,6
Всего			1137,3	3055,4

Т а б л и ц а 7

## Площади ландшафтных провинций бореальной зоны

Ландшафтные провинции бореальной зоны	Площадь	
	млн га	% от общей площади
Нижнеобская	4,6	2,4
Надым-Пурская	4,7	2,4
Енисейско-Тазовская	4,7	2,4
Подуральская	7,1	3,6
Сибирских Увалов	10,3	5,3
Нижнетобольская	10,5	5,4
Северо-Сосьвинская	10,7	5,5
Кондинская	11,8	6,1
Чулымо-Енисейская	14,1	7,2
Верхнетазовская	17,2	8,8
Приенисейская	20,8	10,7
Обско-Тазовская	22,4	11,5
Васюганская	24,3	12,5
Среднеобская	31,5	16,2
Всего	194,7	100,0

Обобщая изложенное в данной работе обоснование возможности использования распределенной ГИС для оценки запасов  $C_{орг}$  в почвах и фитомассе бореальной зоны, необходимо еще раз обратить внимание на совместимость границ и информационного содержания интегрированной картографической основы почвенного и растительного покрова на разных уровнях ландшафтной дифференциации.

Среднемасштабные карты почв ключевых участков, созданные на основе материалов дистанционных исследований, принципов ландшафтного районирования и методов ландшафтно-индикационного дешифрирования,

могут использоваться в качестве базовой информационной основы для оценки запасов  $C_{орг}$  в почвах ландшафтных провинций и бореального региона в целом.

Распределенная ГИС разработана совместно с Институтом вычислительных технологий СО РАН и Центральным сибирским ботаническим садом СО РАН в рамках Междисциплинарного интеграционного проекта фундаментальных исследований СО РАН № 50 “Модели изменения биосферы на основе баланса углерода (по натурным и спутниковым данным, с учетом вклада бореальных экосистем)”.

Т а б л и ц а 8

## Площади почвенных контуров ключевого участка Среднеобской ландшафтной провинции

Почвы	Площадь почвенных контуров, га		
	общая	min	max
Подзолистые поверхностно-глееватые	3859,74	32,7	1420,7
Болотные верховые торфяные маломощные	6144,41	47,66	1624,9
Торфяно-подзолистые глеевые иллювиально-Нм-Fe	10 097,45	13,5	3660
Болотные верховые торфяные среднемощные	16 067,9	4,4	1812,79
Болотные переходные торфяные	17 756,6	4,57	5590,1
Подзолистые грунтово-глеевые иллювиально-Fe-Нм	19 771,01	9,15	2677,8
Болотные верховые торфяные мощные	20 534,61	2,8	1429,97
Всего	94 231,72		
Озера	4965,06	1,35	488,79

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Billings W. D., Luken G. O., Mortensen D. A., Peterson K. M. Arctic tundra: a source or sink for atmospheric carbon dioxide in a changing environment // *Oecologia*. 1982. Vol. 1. P. 7–11.
2. Заварзин Г. А., Кудеяров В. Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // *Вестник РАН*. 2006. Т. 76, № 1. С. 14–29.
3. Вомперский С. Э., Иванов А. И., Цыганова О. П., Валяева Н. А., Дубинин А. И., Глухов А. И., Маркелова Л. Г. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // *Почвоведение*. 1999. № 12. С. 17–25.
4. Titlynova A. A., Bulavco G. I., Kudryashova S. Ya., Naumov A. V., Smirnov V. V., Tanasienko A. A. The reserves and losses of organic carbon in the soils of Siberia // *Eurasian Soil Sci*. 1998. Vol. 31, N 1. P. 45–53.
5. Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Т. 2. Природа, экология. Ханты-Мансийск – Москва, 2004.
6. Velichko A. A., Sheng Y., Smith L. S., MacDonald G. M., Kremenetski K. V., Frey K. E., Lee M., Beilman D. W., Dubinin P. A high-resolution gis-based inventory of the West Siberian peat carbon pool // *West Siberian peatlands and carbon cycle: past and present: proceedings of the II International field symp., Khanty-Mansiysk, August 24 – September 2, 2007. Tomsk, 2007. С. 10.*
7. Turunen, J., Pitkänen A., Tahvanainen T., Tolonen K. Carbon accumulation in West Siberian mires, Russia // *Global Biogeochem. Cycles*. 2001. N 15. P. 285–296.
8. Гвоздецкий Н. А., Михайлов Н. И. Физическая география СССР. Ч. 2. М.: Высш. шк., 1987. 448 с.
9. Козин В. В. Ландшафтный анализ в нефтегазопромысловом регионе. Тюмень: Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2007. 240 с.
10. Карелин Д. В., Замолодчиков Д. Г. Углеродный обмен в криогенных экосистемах. М.: Наука, 2008. 344 с.
11. Olsson M. T., Erlandson M., Lundin L., Nilsson T., Nilsson A., Stendahl J. Organic carbon stocks in swedish podzol soils in relation to soil hydrology and other site characteristics // *Silva Fennica*. 2009. Vol. 43. P. 209–222.
12. Tarnocai C., Canadell J. G., Schuur E. A. G., Kuhry P., Mazhitova G., Zimov S. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // *Global Biogeochem. Cycles*. 2009. Vol. 23. P. 2033–2043.
13. Carlsson M., Chen J. M., Elgie S., Henschel C., Montenegro A., Roulet N., Scott N., Tarnocai C., Wells J. V. Maintaining the role of Canada's forests and peatlands in climate regulation // *Forestry Chronicle*. 2010. Vol. 86, N 4. P. 434–443.
14. Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН, 2001. 400 с.
15. Моисеев Б. Н., Алябина О. И. Оценка и картографирование составляющих углеродного и азотного балансов в основных биомех России // *Изв. РАН. Сер. географ.* 2007. № 5. С. 1–12.
16. Bhatti J. S., Apps M. J. C. Tarnocai Estimates of soil organic carbon stocks in central Canada using three different approaches // *Can. J. For. Res.* 2002. Vol. 32. P. 805–812.
17. Кудряшова С. Я., Дитц Л. Ю. Оценка запасов углерода в почвах таежной зоны на южном пределе криолитозоны Западной Сибири с использованием баз данных и дистанционных исследований // *Разнообразие мерзлотных и сезонно-промерзающих почв и их роль в экосистемах. Улан-Удэ, 2009. С. 231.*
18. Lee Ah Reum, Nam Jin Noh, Yongsung Cho, Woo-Kyun Lee, Yowhan Son. Estimating the soil carbon stocks for a pinus densiflora forest using the soil carbon vodel, Yasso // *J. Ecol. Field Biol.* 2009. Vol. 32, N 1. P. 136–213.

## Distributed GIS for Estimation of Soil Carbon Stock of West Siberia Boreal Zone

S. Ya. KUDRYASHOVA, K. S. BAIKOV, A. A. TITLYANOVA, L. Yu. DITS, N. P. KOSYKH, I. D. MAKHATKOV, S. V. SHIBAREVA

*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS  
630099, Novosibirsk, Sovetskaya str., 18  
E-mail: sya@issa.nsc.ru*

Distributed GIS developed to assess the soil carbon resources includes digital maps «Vegetation» and «Soil» of the boreal zone of West Siberia, middle-scale soil maps of the key sites of landscape provinces that have been created on the basis of interpretation of satellite images, and the software for updating and management of the database “Carbon in soils of Siberia”. According to preliminary estimates, the resources of  $C_{org}$  in the soil of the boreal zone is  $83,6 \cdot 10^8$  t, which is 28,2 % of the resources of  $C_{org}$  in the soils of Russia, or 15,2 % of its world reserves.

**Key words:** carbon resources, soil, boreal zone, West Siberia.