

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт экономики, управления и природопользования
Кафедра экологии и природопользования

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ С.В. Верховец
подпись
« ____ » _____ 20 __ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

05.03.06 - экология и природопользование

05.03.06.01 - Экология

Спутниковый мониторинг болотных ландшафтов бассейна р.Енисей

Руководитель, канд. геогр. наук.	_____	А.В. Гренадерова
	подпись, дата	инициалы, фамилия
Руководитель, канд. техн. наук	_____	Е.И. Пономарев
	подпись, дата	инициалы, фамилия
Выпускник,	<u>ЭБ12-01Б</u>	А.А. Карсаков
	номер группы	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____	И.Г. Гетте
	подпись, дата	инициалы, фамилия

Красноярск 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Спутниковый мониторинг при изучении болотных ландшафтов.....	5
1.1 Биосферные функции болот.....	5
1.2 ГИС-методы мониторинга. Этапы дешифрирования болотных экосистем.....	9
2 Натурное описание болотных ландшафтов бассейна Енисея	16
3 Материал и методы исследования объектов	25
4 Спутниковые данные в мониторинге болотных ландшафтов	28
4.1 Дешифрирование болот на основании данных со спутников Landsat/TM, ETM, ETM+	28
4.2 Регистрация сезонной и межсезонной динамики экосистем дистанционными методами.....	36
Выводы	Ошибка! Закладка не определена.
Список использованных источников	41

ВВЕДЕНИЕ

Глобальное изменение климата в наибольшей степени проявляется в высоких широтах – в зоне распространения многолетнемерзлых пород, наиболее чувствительными к температурным изменениям являются болотные ландшафты. В России площадь оторфованных, заболоченных и болотных земель составляет 3,69 млн. км² (или 21,6 % территории страны) с содержанием углерода 113,53 млрд. т, в том числе площадь торфяных болот – 1,39 млн. км², содержание углерода в них 100,93 млрд. т [1].

На территории Красноярского края наиболее широкое распространение болот соответствует зонам избыточного увлажнения: арктической тундры, тундры и лесотундры. Заболоченность в этих зонах в условиях равнинного рельефа, достигает 50% [2], болота преимущественно относятся к низинному типу, характеризуются маломощностью торфяного слоя в среднем от 10-20 см (арктическая тундра) до 30-50 см (тундра, лесотундра) [3].

В условиях меняющегося климата [4-9], неизбежно будут происходить изменения, которые могут нарушать функционирование устойчивых ландшафтов [10], таких, например, как болотные комплексы. Зачастую это труднодоступные регионы, в особенности болота севера и крайнего севера. Выявить и проанализировать эти изменения возможно с помощью натуральных исследований и методов спутникового мониторинга, который позволяет обеспечить охват большой территории, а также выполнить сравнительный анализ снимков со спутников Landsat 1-8, информация о которых доступна с 1972 года. Таким образом, направление исследований актуально в условиях современного климата и прогнозируемых изменений.

Цель исследования – разработка подходов мониторинга состояния и динамики болотных ландшафтов на основе долговременных данных спутниковой съемки.

Основные задачи работы следующие: 1) провести сравнение серии тестовых участков болотных ландшафтов, в которых было выполнено наземное

обследование, с материалами съемки из космоса; 2) определить площадные и геометрические параметры участков болотных ландшафтов, и оценить вариацию площади тестовых объектов за последние 40 лет; 3) оценить качественные и количественные вариации спектральных признаков, используемых при дешифрировании космоснимков болотных ландшафтов бассейна Енисея; 4) оценить достоверность выделения болотных комплексов в бассейне р. Енисей, на основе материалов различных векторных слоев (карты природных комплексов) и на основе предложенного метода интерпретации спутниковых съемок.

Объектом исследования явились три группы болотных массивов: первый массив объектов расположен в пределах таежной зоны, зоны лесотундры, тундры и арктической тундры Приенисейской Сибири (широтный диапазон от 59° до 73° с.ш), описание которых было проведено в рамках инвенторинга наземных экосистем по проекту "Биогеохимия экосистем Евразии". Вторая группа находится на левобережье Енисея, в окрестностях научного стационара «Зотино», Туруханского района. Третья – болотный массив «Кускун», «Качинское болото», «Пинчинское болото» (зона лесостепи).

В ходе работы была разработана технология дешифрирования болотных экосистем на материалах спутниковой съемки Landsat (пространственное разрешение 30 м) на основе спектральных, площадных характеристик. Выявлены сезонные и межсезонные вариации характеристик исследуемых объектов на основе анализа индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) на выбранных полигонах.

Данное исследование способствует расширению знаний и актуализации их применения в области спутникового мониторинга и дешифрирования наземных экосистем, а также в части получения знаний о динамике болотных комплексов района исследований. Расширяются возможности дистанционного получения информации о состоянии вегетирующей растительности на выбранных заболоченных территориях.

1 Спутниковый мониторинг при изучении болотных ландшафтов

1.1 Биосферные функции болот

Болото – географический ландшафт, закономерно развивающийся под влиянием взаимодействия факторов среды и растительности, которое определяется постоянной или периодически избыточной влажностью и проявляется в гидрофильности напочвенного растительного покрова, болотном типе почвообразовательного процесса и накоплении торфа [11].

Болота – уникальные природные ландшафты, участвующие в поддержании газового состава атмосферы, водного баланса, биологического разнообразия на Земле. Специфичность биосферной функции болот обуславливается незамкнутостью в них цикла круговорота веществ, при котором торфяно-болотные экосистемы возвращают в окружающую среду меньше веществ, чем забирают. Таким образом, идет постоянный сток углерода из атмосферы в торфяное болото [12].

Основная масса ежегодно поступающего в болота органического вещества минерализуется в зоне аэрации процессе торфообразования. Затем, по мере нарастания поверхности торфяника, прирост предыдущего года (торфогенный слой), опускаясь, попадает в анаэробные условия, где идет замедленное разложение его при участии микроорганизмов.

Нарушение болотных комплексов ведет к снижению биоразнообразия животных и других организмов. Так, в пределах заказника «Саратовское болото» из 382 видов птиц юга Центральной Сибири отмечено пребывание 210 видов и каждый четвертый из 89 видов птиц, занесенных в Красную книгу Красноярского края. К числу основных объектов охраны, кроме серого журавля, отнесены красношейная поганка, большая выпь и другие [13].

Общество должно быть заинтересовано в том, чтобы большая часть болотных комплексов оставалась в естественном состоянии на фоне прогрессирующего заболачивания. Если учесть, что разработка торфяных залежей интенсивно и длительное время идет в Европе, что привело к частичному нару-

шению баланса углерода, становится понятной озабоченность экологов мира сохранением болот в естественном состоянии на территориях других стран [14].

Газорегуляторная функция болот. Болота играют важную роль в поддержании состава атмосферного воздуха: их растительность обогащает атмосферу кислородом и усваивает углекислоту, изымая из планетарного цикла углерод и консервируя его в торфяниках на тысячи лет.

Например, показано, что верховые олиготрофные кустарничково-сфагновые болота продуцируют метана в количестве $0,04-0,91 \text{ мгС}^{-2} \text{ ч}^{-1}$, мезотрофные крупнобугристые $0,01-0,95 \text{ мгС}^{-2} \text{ ч}^{-1}$, кедровая согра $0,01-0,9 \text{ мгС}^{-2} \text{ ч}^{-1}$. Отмечается, что интенсивность выделения метана на этих же болотистых системах в 350 раз меньше по сравнению с выделением CO_2 [15].

По данным А.В. Наумова [15], который исследовал олиготрофные кустарничково-сфагновые болота на Обь-Томском междуречье, эмиссия CO_2 составила на верховых болотах - $58,3-84,4 \text{ мгС/час*м}^2$, на переходных - $22,8-86,7 \text{ мгС/час*м}^2$. Эти значения аналогичны величинам, полученным на северо-восточных отрогах Васюганского болота в междуречье рек Икса-Бакчар для сосново-кустарничково - сфагновых биогеоценозов ($87,8 \text{ мгСО}_2/\text{час*м}^2$). Таким образом, согласно исследованиям, суммарный поток CO_2 в год составляет по БГЦ от 165 до $500 \text{ г СО}_2/\text{м}^2$ ($45,1-136,6 \text{ гС/м}^2$), в среднем – $68,4 \text{ гС/м}^2\text{год}$ [15].

Согласно прогнозам, в середине XXI века ожидается потепление средней глобальной температуры на $1 \text{ }^\circ\text{C}$, что может привести к изменению климата с соответствующими последствиями; такой прогноз связан с усилением парникового эффекта, вызванного хозяйственной деятельностью человека и обусловленного в первую очередь нарушением баланса углерода. Сегодня доля антропогенной углекислоты в парниковом эффекте оценивается в 61 %, метана – в 23 %, закиси азота – в 4 %, остальные проценты приходятся на другие микропримеси. Так как основная доля в парниковом эффекте приходится на CO_2 , то оценка его потоков составляет первоочередную задачу в прогнозиро-

вании характера эффекта (положительного или отрицательного) при этих изменениях.

Аккумулятивная функция болот. Болота – единственные в наземной биоте экологические системы, обеспечивающие постоянный сток в них углерода, который надолго выключается из дальнейшего круговорота, накапливаясь в виде торфяных залежей.

Болота рассматриваются как один из основных объектов биосферы. Согласно С.Э. Вомперскому [16] который, в свою очередь, ориентируется на данные Международного сообщества по торфу, площадь торфяных болот мира оценивается в 5×10^6 км² (3,5% суши Земли), а запасы торфа в пересчете на углерод – в 120–240 млрд. т. По самым последним данным площадь болот мира оценивается уже цифрой 6 413 000 км², и, соответственно, возрастают запасы углерода – до 234–525 млрд. т [17].

В Западно-Сибирском регионе площадь торфяных болот достигает 42% от территории болот России, содержание углерода в них 42,3 млрд. т, что составляет 36% от депонированного углерода России.

Ввиду физико-географических особенностей Красноярского края, который расположен с юга на север, болота огромные площади, это доминирующий природный комплекс северных территорий Края. Однако, в лесостепной зоне Красноярского края заболоченность региона незначительна – около 1%.

Приенисейская торфяно-болотная область тянется в бассейне р. Енисей от берегов Северного Ледовитого океана до горных районов Южной Сибири почти на 3 тыс. км и пересекает зоны тундры, тайги и вторгается в зону лесостепи. Для районов тундры и редколесья характерны полигональные, плоскобугристые и крупнобугристые болота [11]. Наиболее заболочена приенисейская полоса шириной 10-20 км. В северной части района болота почти не изучены. В междуречье Кети и Сыма доля верховых болот более 55 %, остальные преимущественно переходные болота. Площади отдельных болот превышают 2500 км². Меньшее распространение в Енисейском бассейновом округе имеют болота и заболоченные земли в бассейнах рек Пяпина, Хатанга [18].

Гидрологическая функция болот проявляется в двух взаимосвязанных аспектах: количественных и качественных гидрологических характеристиках и характеристиках качества воды.

Одно из проявлений гидрологической функции – водоохранная роль болот, которая может быть как положительной, так и отрицательной: известно, что болота на водосборной площади несколько снижают объем речного стока в замыкающем створе бассейна (негативная роль), но консервируют значительные запасы влаги в торфяных отложениях – положительная роль [19].

При площади заболачивания Западной Сибири около 1 млн. км² и запасах торфа 120 млрд. т (при влажности 40 %) запасы воды в торфе достигают 1000 км³, т. е. в среднем 1000 мм³ (1 см³) на единицу заболоченной площади, что значительно превышает годовой сток рек в этих районах [20].

Болотные экосистемы отличаются в естественном состоянии в большинстве случаев повышенным испарением. Болота всех типов, обладая определенной регулирующей емкостью, как и леса, способствуют уменьшению максимальных модулей паводков и половодий. Наибольшее снижение стока при одинаковой степени заболоченности наблюдается на озерно-болотных комплексах и сильно обводненных микроландшафтах, а также в районах низинных болот. Наименьшее снижение стока дают выпуклые верховые болотные массивы. То есть, любые болота на водосборе способствуют снижению речного стока по сравнению с не заболоченными бассейнами в естественном состоянии.

Торфяники являются сложными комплексными ландшафтно-геохимическими барьерами как линейного, так и площадного типа. Поступление кислых болотных вод в реки и в нижерасположенные водоносные горизонты способствует понижению рН, жесткости и концентрации главных ионов в воде, увеличению содержания органики, марганца и некоторых других микроэлементов [21].

1.2 ГИС-методы мониторинга. Этапы дешифрирования болотных экосистем

Мониторинг – это регистрация, сбор, передача, накопление, хранение и анализ информации о качественных и количественных характеристиках состояния биосферы и ее отдельных компонентов - биомов, экосистем - и протекающих в них процессах под влиянием естественных и антропогенных факторов, а также оценка и прогноз тенденций изменения в них [22].

Потребности информации для оценки состояния и управления экосистемами оцениваются на разных пространственных уровнях. На глобальном, планетарном уровне оцениваются общие размеры экосистемы, ее современная динамика, влияние на другие экосистемы [23].

Спутниковое картографирование растительности имеет широкое практическое использование и относится к числу интенсивно развивающихся научных направлений дистанционного зондирования Земли. При решении задач картографирования земного покрова на глобальном уровне, а также на уровне континентов или крупных стран, методам дистанционного зондирования в настоящее время не существует реальной альтернативы. При этом, несмотря на предпринимаемые с середины 1990-х годов и возрастающие в последние годы усилия, методические и технологические аспекты спутникового картографирования растительности больших территорий все еще требуют существенного развития. Это объясняется концептуальной сложностью самой проблемы картографирования растительности при необходимости максимально полной автоматизации процессов обработки спутниковых данных с использованием алгоритмов, обеспечивающих высокую точность распознавания объектов земного покрова в условиях пространственной изменчивости их спектрально-отражательных характеристик.

Упомянутые обстоятельства, очевидно, могут служить объяснением того, что выполненные к настоящему времени крупные проекты по глобальному картографированию земного покрова (в англоязычных публикациях принят

термин - land cover) рассматривают относительно небольшое число тематических классов легенды, а независимо выполненная валидация созданных карт свидетельствует об их относительно низкой точности. Так широко используемая при глобальном картографировании земного покрова легенда IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) содержит 17 тематических классов, тринадцать из которых характеризуют растительный покров [24]. Использование указанной легенды, в частности, было положено в основу глобальных карт земного покрова, созданных на основе данных радиометра NOAA-AVHRR с пространственным разрешением около 1 км в рамках проектов IGBP-DIS [25]. Экспертная валидация карты IGBP-DIS с использованием изображений Landsat-TM показала, что для различных классов точность распознавания варьирует в диапазоне 40-100% а в среднем составляет 59,4% [26].

Несколько более высокая точность распознавания типов земного покрова достигнута при создании глобальной карты GLC2000 по спутниковым данным SPOT-VEGETATION с пространственным разрешением около 1 км. При этом легенда карты включала 22 класса, а средняя точность распознавания типов земного покрова составила 68,6% [27].

Другие, созданные на основе данных Terra-MODIS и Envisat-MERIS, глобальные карты земного покрова характеризуются тематической точностью, не превышающей в среднем величину 70%.

Решение задач картографирования больших территорий требует учета фактора пространственной изменчивости спектрально-отражательных характеристик земного покрова, влияние которого, как правило, возрастает с увеличением географического охвата. Одним из широко используемых методических приемов, призванных снизить влияние фактора пространственной изменчивости спектрально-отражательных характеристик одноименных типов земного покрова, является стратификация территории с классификацией спутниковых данных в границах отдельных страт. В предельно простом случае, как в проекте IGBP-DIS, в качестве страт выступают отдельные континенты [24], а по мере усложнения подходов выделяются регионы, однородные по совокуп-

ности критериев, учитывающих меняющихся физико-географические, геоботанические и некоторые другие природные условия [28]. Другой, используемый в ряде проектов по картографированию больших территорий, методический прием по снижению влияния географической изменчивости спектрально-отражательных характеристик одноименных типов земного покрова состоит в гиперкластеризации [29]. Суть гиперкластеризации заключается в дробном разбиении пространства признаков распознавания для выделения однородных групп пикселей (кластеров), число которых в десятки раз превышает количество тематических классов легенды создаваемой карты.

Принципиальное развитие возможностей инструментальной оценки гибели лесов от пожаров связано с использованием спутниковых методов дистанционного зондирования Земли. Физическую основу получения такого рода оценок составляют вызываемые пожарами изменения отражательной способности лесов в видимом, ближнем и среднем инфракрасных диапазонах спектра, прежде всего, на длинах волн, соответствующих линиям поглощения света молекулами хлорофилла и воды.

Линии поглощения хлорофилла в синей (0.45 мкм) и красной (0.65 мкм) областях спектра определяют низкий уровень отражения здоровой зеленой растительности в видимом диапазоне длин волн с наличием его максимума приблизительно на 0.54 мкм [30]. С уменьшением образования хлорофилла в находящихся в состоянии стресса растениях снижается и поглощение света в соответствующих диапазонах спектра. Повышенная отражательная способность ослабленных растений в видимом диапазоне спектра, и особенно в красной его части, проявляется в приобретении вегетативными органами деревьев желто-красной окраски. На длинах волн в линиях поглощения воды в среднем ИК диапазоне, а именно 1.4, 1.9 и 2.7 мкм, содержание влаги в листьях оказывает существенное влияние на спектральный отклик растительности [31]. При уменьшении влаги в листьях их отражательная способность в среднем ИК диапазоне длин волн увеличивается. С потерей листьями влаги изменения их

внутренней структуры влияют и на отражательную способность в ближней ИК области спектра [32].

Изменения отражательной способности лесов в наибольшей степени проявляются при их гибели, сопровождаемой характерной для верховых и высокоинтенсивных низовых пожаров полной потерей деревьями вегетативных органов. Существенное влияние на снижение альбедо погибших древостоев может оказывать и уменьшение проективного покрытия крон деревьев при одновременном повышении относительного вклада покрытой продуктами пиролиза поверхности в отраженное излучение.

Приведенные выше физические предпосылки составляют основу поиска взаимосвязей между степенью повреждения лесов пожарами и спектральными индексами, основанными на дистанционных измерениях отражательной способности земной поверхности в видимом, ближнем и среднем ИК диапазонах [33].

Предварительный анализ снимков и наземных данных, определение классов. Использовались данные наземных наблюдений в регионе. Дополнительным источником информации была Карта растительности и кормовых запасов Таймырского национального округа.

Первое, что видно при рассмотрении тундры на космоснимке, – водные зеркала множества водоемов. Это термокарстовые озера, которые, образовались в результате сезонного таяния мерзлоты и проседания грунта, сильное меандрирование рек. Это почти идеальный пример для выявления причинно-следственных связей между компонентами природного комплекса: большое количество излучин рек – плоское пространство; много озёр округлой формы – признак протаивания; на одном из участков – территория выше, поскольку озёра протаивают на меньшую; большое количество воды – следствие невысоких показателей испаряемости.

Было выделено несколько классов: водные поверхности, каменистые поверхности, каменистые русла рек, населенные пункты, здоровые лиственнич-

ные и смешанные насаждения, поврежденные насаждения, погибшие насаждения, техногенная пустыня, тундры, болота [34].

Глобальные климатические изменения представляют одну из ключевых проблем экологии. Глобальные изменения затрагивают все аспекты существования и функционирования биосферы. Важнейшую роль в обеспечении климаторегулирующей функции лесов планеты определяет то, что они являются одним из основных звеньев в цикле углерода на планете.

Лесоболотному районированию предшествует разномасштабное тематическое картографирование ПТК (природно-территориальный комплекс) с поэтапным переходом от одного масштаба к другому. Вся работа строится в два этапа.

Предварительная работа с аэрофотоматериалами. Знакомство с ландшафтом подразумевает анализ мелкомасштабной (1:100 000) съемки. На мелкомасштабных снимках дешифрированию поддаются природные границы, контуры крупных болотных урочищ и заболоченных лесных массивов, процентное соотношение суходольных и гидроморфных ПТК, их геоморфологическая приуроченность.

Генезис и развитие гидроморфных ПТК находится в непосредственной зависимости от условий геоморфологического залегания. Разные геоморфологические уровни, по которым выделяется местность, как правило, различаются степенью заболоченности, характером водно-минерального питания болотных урочищ, типологическим составом болотной растительности, общей направленностью болотообразовательного процесса, отраженного в строении торфяной залежи [35].

Предварительное изучение структуры местностей выполняется выборочным методом на среднемасштабной аэрофотооснове. В этих целях после знакомства с мелкомасштабной аэросъемкой для каждого вида местности подбираются ключевые участки, призванные характеризовать все виды болотных урочищ. Площадь таких ключей исчисляется несколькими десятками квадратных километров, и количество их колеблется от 1 до 3–4 в зависимости от

сложности структуры местности. Оптимальными возможностями для дешифрирования и картографирования ПТК на уровне урочищ обладает аэрофотооснова масштаба 1:30 000 – 1:20 000 [36]. Базируясь на аэровизуальной характеристике болотных урочищ и их приуроченности к элементам мезорельефа, можно выполнить предварительную классификацию. Эта классификация в первом приближении позволила судить о разнообразии выраженности болотообразовательного процесса на местностях и определить объем предстоящих детальных исследований [37].

Заключительный этап работы с аэрофотоосновой до выезда в поле состоит в изучении структуры болотных урочищ в ранге фаций. В этих целях для каждого типа болотных урочищ, выделенных на среднемасштабной основе, намечаются ключи низшего порядка, которые подвергались дешифрированию на крупномасштабных снимках. Ключи низшего порядка имеют небольшие размеры (в пределах одного десятка км²) и количество их определяется разнообразием видов болотных урочищ.

Разномасштабное болотоведческое картографирование по материалам наземных исследований. Ландшафтные профили и точечные ключи подбираются с таким расчетом, чтобы при минимальной протяженности профилей наземными исследованиями было охвачено все разнообразие фаций, слагающих урочище.

Работы на профилях состоят в следующем:

- 1) закладка профиля на местности, выделение и закрепление границ фаций;
- 2) инструментальное нивелирование поверхности профиля;
- 3) болотоведческая характеристика фаций, включающая полное геоботаническое описание растительности, таксацию древостоев, описание почвенных разрезов, зондирование торфяников и отбор образцов торфа на ботанический и химический анализы.

Каждый вид болотного урочища характеризовался, как минимум, 1-2 ландшафтными профилями. В качестве дублей в других урочищах того же типа закладывалось 1-2 точечных ключа. Профили и точечные ключи желатель-

но расположить по урочищу с таким расчетом, чтобы был пересечен генетический центр болотообразования (обычно хорошо читаемый на снимках), в котором наиболее полно отражена история развития урочища [38].

На первом этапе картированием охватываются небольшие площади со свойственными им конкретными профилями и точечными ключами. Экстраполяция наземных материалов ограничивается фациями, пересеченными профилем и ключом, а также не пересеченными, но однохарактерными по аэрофотоизображению в границах данного урочища.

Следующий этап картирования охватывает местности. Полученные при крупномасштабном картировании характеристики типов урочищ экстраполируются на ландшафтные аналоги. Картируются уже не фации, а целые урочища с показом структурных выделов в ранге более крупных таксономических единиц классификации – подклассов фаций. Это делается на основе дешифрирования среднемасштабных снимков (1:20 000, 1:30 000).

Мелкомасштабная карта дает представление об особенностях болотообразовательного процесса в крупных территориальных выделах и может быть положена в основу дальнейшего лесоболотного районирования [39].

2. Натурное описание болотных ландшафтов бассейна Енисея

Объектом для картографического анализа явились три группы болотных массивов (рисунок 1). Первая группа болот расположена в пределах таежной зоны, зоны лесотундры, тундры и арктической тундры Приенисейской Сибири (широтный диапазон от 59° до 73° с.ш), описание болот было проведено в рамках инвенторинга наземных экосистем по проекту "Биогеохимия экосистем Евразии". Были предоставлены данные о геоморфологической приуроченности болот; особенностях структуры и строения биогеоценозов, характере растительного покрова с указанием видового разнообразия включая мохообразные; трофности болот; мощности торфяных отложений в точках исследования (по одному массиву на каждой широте, за исключением 64-69° с.ш.).

Вторая группа находится на левобережье Енисея, в окрестностях научного стационара «Зотино», Туруханского района. Согласно болотному районированию Красноярского края, эта территория является провинцией грядово-мочажинных торфяников Западной Сибири, этот район входит в зону выпуклых олиготрофных торфяников, простирающуюся от берегов Балтики до Енисея. В целом этот район по степени заболоченности, типам болот и свойствам торфяных залежей имеет довольно большое сходство с основной частью Западно-Сибирской провинции олиготрофных торфяников. Натурные описания были проведены в рамках летней практики.

Третья группа болот расположена в пределах лесостепной зоны: болотный массив «Кускун» и «Пинчинское болото» (Манский район, бассейн р.Есауловка – правобережный приток Енисея), «Качинское болото» (Емельяновский район, бассейн Качи) [40]. Натурные описания были проведены в рамках летней практики.

Рисунок 1– Район исследований на лесорастительной карте Красноярского края. 1 – Объекты исследований проекта «Биогеохимия Евразия», 2 – объекты исследований в районе вышки Зотино, 3 – объекты исследований болотного комплекса Кускун

Дистанционному исследованию предшествовало подробное рассмотрение этих объектов наземными методами в рамках учебной полевой практики. На болотах отмечались особенности растительного покрова, проводилось зондирование торфяной толщи, описывалась геоморфологическая приуроченность болота, особенности микрорельефа, уровень болотных вод. Одновременно были зафиксированы координаты для дистанционного дешифрирования болотных комплексов и их изучения.

В районе болотного комплекса Зотино, характеризующемся равнинным, не сильно расчлененным рельефом, положительным водным балансом и относительно большой продолжительностью вегетационного периода, условия для развития болото - и торфообразовательных процессов наиболее благоприятны. Эти процессы начались вскоре после периода оледенения и достигли здесь весьма сильного развития. В современный период здесь преобладает олиготрофный сфагновый тип болотообразования.

Заторфованность этой части района в среднем около 20%, причем размеры многих болотных массивов измеряются десятками, а в отдельных случаях и сотнями тысяч гектаров. Нередко они почти сплошь покрывают 7 плоские водоразделы притоков крупных рек. В речных поймах, которые не были охвачены исследованиями, по всей видимости, большие площади заняты низинными болотами грунтового питания.

Глубина торфа в болотах района достигает 5-6 м, а в отдельных случаях приближается к 9 м [41].

Болотообразовательный процесс в рассматриваемом районе носит поступательный характер под влиянием разрастания болот в стороны, а также вследствие поверхностного заболачивания лесов на выщелоченных почвах с недостаточно обеспеченным стоком.

На крупных болотных массивах верхового типа широко распространены олиготрофные грядово-мочажинные и грядово-озерные комплексы, обычно занимающие средние части массивов. Для небольших верховых торфяников и

периферии крупных, характерны сосново-кустарничковые группировки растительности.

Для гряд и бугорков олиготрофных комплексов типичен покров из редко угнетенной сосны, высотой 2-4 м, иногда с участием кедра, зарослей, кустарничков – карликовой березы, багульника, кассандры, голубики морошки. В моховом ярусе господствует *Sphagnum fuscum*, занимающий возвышенные части гряд. У оснований сфагновых подушек и в понижениях между ними растут *Sphagnum magellanicum* и *Sph. angustifolium* [42].

Моховой покров мочажин образован олиготрофными видами сфагнума – *Sphagnum Dusenii*, *Sph. Jensenii*, *Sph. balticum* и иногда, у основании гряд, *Sph. papillosum*. Широко распространена шейхцерия, довольно много пушицы, встречаются ринхоспора (*Rhynchospora alba*) и осока (*Carex limosa*).

Грядово-мочажинные и грядово-озерные комплексы нередко бывают на переходных болотах. На грядах здесь растет береза и в меньшем количестве сосна. Ярус кустарничков образован карликовой березой и кассандрой с участием багульника и подбела. Часто обильно представлена клюква. В моховом покрове преобладают *Sphagnum magellanicum* и *Sph. centrale* но не редок и *Sph. fuscum*.

Мочажины, обычно сильно обводненные, заняты осоково-сфагновыми и сфагново-шейхцериевыми сообществами, причем среди осок основную роль играют *Carex lasiocarpa*, *C. limosa.*, *C. inflata*, *C. chordorrhiza*. Моховой ярус состоит из *Sphagnum obtusum*, *Sph. apiculatum*, нередко с участием *Sph. Dusenii* и *Sph. Jensenii*.

По периферии грядово-мочажинные мезотрофные комплексы обычно окаймлены лесными переходными болотами с древесным ярусом из кедра или сосны и с напочвенным покровом из осок, главным образом *Carex lasiocarpa*, щитовника (*Dryopteris thelypteris*) и мезотрофных сфагновых мхов.

Открытые низинные болота имеют преимущественно осоково-гипновый покров (*Carex lasiocarpa*, *C. inflata*, *C. cordorrhiza*, *C. caespitosa*, *Drepanocladus vernicosus*, *Calliergon stramineum*, *Camptothecium trichoides* и др.),

среди которого на микроповышениях встречаются заросли карликовой березы и местами небольшие группы или единичные экземпляры пушистой березы, сосны, ели, кедра и лиственницы [41].

В целом этот район по степени заболоченности, типам болот и свойствам торфяных залежей имеет довольно большое сходство с основной частью Западно-Сибирской провинции олиготрофных торфяников.

Третья группа болот. Емельяновский и Манский район (Пинчино) располагаются в пределах Красноярской лесостепи.

Растительный покров островных лесостепей имеет сложную и пеструю структуру и характеризуется участием не только зональных растительных сообществ, но и растительности, типичной для других зон и подзон. Так, на крутых южных склонах в долинах рек развиты крупнопольно-ковыльные и мелкодерновинные, каменистые и опустыненные степи. На днищах долин в котловинах распространены участки белопопынников и заросли однолетних солянок. По долинам рек тянутся полосы темнохвойных елово-пихтовых или березовых лесов. Зональные типы растительности: травяные леса и луговые степи – приурочены к водоразделам и пологим склонам.

Средняя степень заболоченности лесостепной зоны Приенисейской Сибири составляет менее 1% (в некоторых районах до 5%), болотные массивы приурочены в основном к поймам и первым надпойменным террасам, где развиваются за счет выхода грунтовых вод и увлажнения паводкового характера. Размеры болот сравнительно невелики: болота до 100 га составляют 36%, от 100 до 1000 га – 49%, от 1000 до 5000 га – 13% и свыше 5000 га – 2% всей площади торфяного фонда лесостепи [43]. Форма болот преимущественно вытянутая, соответствующая конфигурациям пойм или террасных понижений. Средняя глубина торфяных залежей по району 1,4 м.

Ниже приведено описание исследуемых болот в районе вышки Зотино, включая указание координат, описание геоморфологической приуроченности болот, характерной растительности и первичные результаты бурения скважи-

ны при помощи ручного бура-пробоотборника Eijkelkamp (Германия) с последующим отбором проб торфа.

Точка 1. Олиготрофное сосново-кустарничково-сфагновое болото.

Координаты N60°49'03.4" E89°23'19.8". Высота над уровнем моря составила 170 м.

Болото олиготрофное с мощной сфагновой подушкой, обводненное, уровень болотных вод – 5 см. Сосново-кустарничково-сфагновый тип биогеоценоза. В древесном ярусе угнетенная сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), из кустарников отмечены карликовая береза, подбел многолистный и багульник болотный, травяно-кустарничковый ярус представлен голубикой (*Vaccinium uliginosum*), брусникой (*Vaccinium vitis-idaea*), черникой (*Vaccinium myrtillus*), осокой, росянкой.

Мощность торфяного слоя около 2,90 м торф сильно обводнен, водоупорный горизонт не был достигнут в связи с обводненностью.



Рисунок 2 – Олиготрофное сосново-кустарничково-сфагновое болото, (точка 1)

Точка 2. Координаты N60°48'50.6" E89°19'26.9" Высота над уровнем моря 143 м.

За складом ГСМ был сделан еще один разрез. Он оказался самым мощным из всех, водоупорный горизонт не был достигнут. Как и в предыдущем

случае, содержание воды в образцах почти всех горизонтов высоко. Болото мезотрофно-олиготрофного типа Растительность: багульник (*Ledum palustre*), сфагновый мох (*Sphagnum palustre*), осока (*Sarex acuta*), голубика, черника, брусника, морошка (*Rubus chamaemorus*). Довольно развит древесный ярус и представлен: сосна обыкновенная, береза (*Betula pendula*), сосна сибирская (*Pinus sibirica*).

Поверхность болота ровная, микроландшафт не выражен, уровень грунтовых вод 20 см., открытой воды нет.

Точка 3. Координаты N60°48'50.5" E89°19'26.9".

Разрез сделан на территории водосбора безымянного ручья, недалеко от дороги, которая ведет к малой вышке от стационара «Зотино». Водоупор отмечен на глубине 1,8 м. Хорошо представлен древесный ярус: сосна обыкновенная, береза (*Betula pendula*), сосна сибирская (*Pinus sibirica*). В травянистом преобладают сфагновый мох (*Sphagnum palustre*), осока (*Carex acuta*), голубика, черника, брусника.

Болото в локальном понижении, вокруг лишайниковый сосняк. Центр болота сильно обводнен, есть открытая вода, деревья отсутствуют, преобладает сфагновый мох. Вода на периферии примерно на глубине 30 см.

Точка 4. Координаты N60°48'41.1" E89°22'23.3"

Высота над уровнем моря 1,73 м.

Болотный комплекс в пределах поймы реки Развилки. Болото и его характерные признаки (растительность, мощность, уровень воды) меняются по мере удаления от реки. Поэтому было так же сделано 2 разреза.

Первая точка находится на олиготрофном участке. Равнинный рельеф осложнен кочками – микрорельеф (высота до 30 см), уровень болотных вод в межкочечном понижении 5 см. В древесном ярусе лишь редкая сосна обыкновенная, преимущественно угнетенная, по мере движения в сторону реки, на границе фитоценозов можно встретить березу, все деревья угнетены, много сухостоя. В растительном покрове доминирует сфагновый мох, много голуби-

ки, встречается брусника, на деревьях много лишайника. Мощность болота – 1 м.



Рисунок 3 – Евтрофный участок болотного массива в пойме р. Развилки (у уреза реки)

Точка 5. Координаты N60°47'52.7" E89°23'25.4"

Заложена на том же болотном комплексе в 200 метрах от Точки 5 ближе к реке (300 м. от уреза реки). Степень обводненности болота уменьшается от поймы к террасе, УБВ здесь составляет 20 см. На пойме развит сосново-березовый с елью и пихтой кустарничково-осоково-зеленомошный фитоценоз. Стоит отметить, что в данном районе, в целом, пихта и ель встречаются крайне редко.



Рисунок 4 – Олиготрофный участок болотного массива в пойме р. Развилки (в 300 м от уреза реки)

Точка 6. Координаты N60°43,09'02" E89°10'13.6".

Слабо заболоченный участок. Мощность торфа 20 см. Участок был подвержен пирогенному воздействию в 2012 году (низовой пожар), как и сосняк вокруг. Вода на поверхности отсутствует. Вся растительность горелая: сосна, береза, голубика, клюква, осока. Высота над уровнем моря 146 м.



Рисунок 5 – Разнотравно-осоковый фитоценоз, выгоревший в 2012 году

Таким образом, за время наземных исследований в районе вышки Зотино, были получены данные наземных исследований о 6 объектах.

3. Материал и методы исследования объектов

В исследовании было рассмотрено 5 точек в рамках проекта «Биогеохимия Евразии», 6 точек на прилегающих территориях стационара «Зотино» и осушенное болото, в Манском районе, к северу от деревни Кускун. Работа состояла из двух частей: наземная и дистанционная. На последних двух группах объектов проводились полевые исследования с описанием растительности, геоморфологической приуроченности и отбором проб для лабораторных исследований. Данные наземных исследований для первой группы точек были получены из материалов проекта «Биогеохимия Евразии».

Была составлена база данных, которая содержит координаты болот, зафиксированные средствами наземного позиционирования (GPS), краткое описание болот, информацию об их площади и данных наземных исследований.

Для детектирования, дешифрирования и анализа исследуемых объектов были использованы данные со спутников Landsat, которые находятся в свободном доступе на сайте Геологической службы США USGS (The United States Geological Survey) [44]. Всего было использовано 129 снимков за период 20 лет (1975 - 2015).

Landsat 8 получает изображения в видимом диапазоне волн, в ближнем ИК и в дальнем ИК, с разрешением снимков от 15 до 100 метров на точку. В сутки снимается порядка 400 сцен (для LandSat-7 всего 250 сцен в день). Сенсоры OLI и TIRS имеют более высокое отношение сигнал-шум (SNR) и снижать до 12 бит на точку.

Параметры продукции Landsat 8 следующие:

- Уровень обработки: 1T (коррекция рельефа)
- Формат изображений: GeoTIFF
- Размер пикселя: 15 метров/30 метров/100 метров (панхроматический канал/ мультиспектральный канал/ дальний ИК)
- Проекция: UTM, также полярная стереографическая для Антарктиды
- Система координат: WGS 84

- Точность позиционирования:
- OLI: КВО 12 метров (90 %)
- TIRS: КВО 41 метр (90 %) [45].

Процедура дешифрирования состояла из следующих этапов:

1. Экспертный анализ снимка и визуальное дешифрирование объектов, фона.
2. Оценка спектральных характеристик выделяемых объектов и фона. Вычисление средних показателей для выделяемых классов.
3. Создание обучающих выборок для классов, математическая классификация средствами ГИС.

На основании данных каналов RGB все болотные комплексы были дешифрированы относительно фона и воды, а так же определены средние показатели для каждого канала.

После процедуры дешифрирования был рассчитан индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) сезонной (вегетационный период май-сентябрь) и межсезонной динамики за период 25 лет для осушенного болота в Манском районе и болот «Зотино».

NDVI наиболее популярный и часто используемый вегетационный индекс, который для растительности принимает положительные значения, и чем больше зеленая фитомасса, тем он выше. На значения индекса влияет также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью [46].

Расчет вегетационного индекса NDVI основан на особенностях поглощения солнечной радиации в красной области электромагнитного спектра хлорофиллом и отражения ее в инфракрасной области спектра клеточными структурами листа. NDVI рассчитывается по формуле:

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}},$$

где PNIR - значения яркости пикселя в ближнем инфракрасном диапазоне (0.845 — 0.885 мкм), PRED – в красном диапазонах (0.630 — 0.680 мкм).

Высокая фотосинтетическая активность, связанная с большой фитомассой ненарушенного растительного покрова, имеет низкие значения яркости пикселей в красном диапазоне и большие значения в ближнем инфракрасном диапазоне. Как правило, для густой растительности он составляет 0,7, для разреженной растительности – 0,5, для открытой почвы – 0,025 и искусственных материалов – -0,5.

4. Спутниковые данные в мониторинге болотных ландшафтов

4.1. Дешифрирование болот на основании данных со спутников Landsat/TM, ETM, ETM+

4.2 Регистрация сезонной и межсезонной динамики экосистем дистанционными методами

ВЫВОДЫ

1. В результате сравнения серии тестовых участков выявлено, что спектральные признаки болотных ландшафтов определяются совокупностью специфических особенностей: распределения растительного покрова, гидрологической сетью и пирогенным фактором, наличие которых способствует распознаванию болотных комплексов.

2. Предполагаемой динамики площади болот на севере Красноярского края с помощью космического мониторинга выявлено не было. Можно предположить, что болота обладают достаточным буферным потенциалом, чтобы оставаться неизменными по площади в течение периода, охватываемого данным исследованием (1975-2015 гг).

3. Анализ космоснимков с помощью индекса NDVI позволяет достоверно оценить динамику вегетирующей растительности. При сравнении серии карт установлено, что наиболее оптимальный период для дешифрирования болот - начало лета, характеризующийся снижением обводенности поверхности болот и еще слабым развитием растительного покрова.

4. Достоверность имеющихся векторных карт (карта растительности Барталёва С. А. и карта векторного полигонального слоя) в сравнении с данными современных дистанционных спутниковых съемок Landsat составляет не ниже 83%, что делает использование данных со спутника Landsat при дешифрировании болот наиболее результативным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иванова, К. Е. Болота Западной Сибири их строение и гидрологический режим / К. Е. Иванова, С. М. Новикова – Москва: Гидрометеиздат, 1976. – 448 с.
2. Михеев, В. А. Классификация климатов / Климатология и метеорология. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2009. – 114 с.
3. Гренадерова, А. В. К вопросу изучения биоразнообразия болот севера Красноярского края / Гренадерова А.В. / Материалы всероссийской конференции: Биоразнообразие экосистем крайнего севера: инвентаризация, мониторинг, охрана (Сыктывкар, 3-7 июня 2013 г.) [Электронный ресурс]. – Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2013. – Режим доступа: <http://ib.komisc.ru/add/conf/tundra>, свободный. 43-46 с.
4. Елдышев, Ю.Н., Изменение климата: последствия и противодействия / Ю.Н. Елдышев // Экология и жизнь. – 2007. - № 10.– 44-50 с.
5. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summaries, Frequently Asked Questions, and Cross-Chapter Boxes. A Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L., Eds.; World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland, 2014, 190 pp.
6. Школьник, И.М. Изменения экстремальности климата на территории Сибири к середине XXI век: ансамблевый прогноз по региональной модели ГГО / И.М. Школьник, В.П. Мелешко, С.В. Ефимов, Е.Н. Стафеева // Метеорология и гидрология. - 2012. - №2. 5 – 22 с.

7. Onuchin, A. Modeling air temperature changes in Northern Asia / A. Onuchin, M. Korets, A. Shvidenko, T. Burenina, A. Musokhranova // *Global and Planetary Changes – USA – 2014*. 122. 14–22 p.
8. Rehfeldt, G. E. North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems / G. E. Rehfeldt, N. L. Crookston, C. Sáenz-Romero // *Ecological Manage.* – 2012. – 22(1). – P. 119–141.
9. Kharuk, V.I. Forest–tundra ecotone response to climate change in the Western Sayan Mountains, Siberia / V.I. Kharuk, S.T. Dvinskaya // *Scandinavian Journal of Forest Research.* – 2010. – Vol. 25. – Iss. 3. – 224 – 233 p.
10. Елдышев, Ю.Н. Изменение климата: последствия и противодействия / Ю.Н. Елдышев // *Экология и жизнь.* – 2007. - № 10. – С. 44-50.
11. Пьявченко, Н.И. К изучению болот Красноярского края / Н.И. Пьявченко // *Заболоченные леса и болота Сибири.* – М.: АН СССР, 1963. – С. 5-32.
12. Трешников, А.Ф. Географический энциклопедический словарь / А.Ф. Трешников – М.: Советская энциклопедия, 1988. – 432 с.
13. Ученые СФУ предложили способ сохранить исчезающие виды птиц Красноярского края // *Информбюро.* – 2012. – №4. – 12 с.
14. Конвенция о водно-болотных угодьях, 1996. – 113 с.
15. Глаголев, М.В. Болотообразовательный процесс. Роль болот в круговороте CO₂ и CH₄. / М.В. Глаголев – ТГПУ Томск, 2010. – 112 с.
16. Вомперский, С. Э. Роль болот в круговороте углерода / С. Э. Вомперский // *XI чтения памяти В. Н. Сукачева: Биогеоэкологические особенности болот и их рациональное использование.* - М., 1994. - 5-37 с.
17. Инишева, Л.И. Формирование состава болотных вод олиготрофных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири / Л.И. Инишева, Н.Г. Инишев // *Проблемы географии на рубеже XXI века. Материалы Всероссийской научн. Конф, Томск, 2000.* - 66-68 с.
18. Атлас Красноярского края и Республики Хакасия / НГУ; [Под ред. А.С. Исаева]. Новосибирск: изд-во Роскартография, 1994. 84 с.

19. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2012 году». – М.: НИА-Природа, 2013. – 370 с.
20. Концепция рационального использования торфяных ресурсов России / Л.И. Инишева [и др.]. – Томск, ЦНТИ, 2003. – 60 с.
21. Иванов, К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. / К.Е. Иванов. – Л.: Академия, 1975. – 280 с.
22. Лурье, И.К., Косиков, А.Г. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. / И.К. Лурье, А.Г. Косиков – М.: Наука, 2003. – 168 с.
23. Точельников, Ю.С. Оптические свойства ландшафта / Ю.С. Точельников – Москва: Наука, 1974. – 174 с.
24. Belward, A.S., 1996, The IGBP-DIS global 1 km land cover data set (DIS Cover) / A.S. Belward // Proposal and implementation plans: IGBP-DIS Working Paper. – 2005. – № 13. – 61 pp.
25. Loveland, T. R. An analysis of the IGBP Global Land-Cover Characterization Process II Photogramm. Eng. Rem. S. / T. R. Loveland, Z. Zhu, D. O. Ohlen, J. F. Brown, 1999. V. 65. № 9. 102 p.
26. Scepan, J. Thematic Validation of High-Resolution Global Land-Cover Data Sets II Photogramm. Eng. Rem. S. / J. Scepan, 1999. V. 65. № 9. 1051-1060 P.
27. Validation of the Global Land Cover 2000 Map II IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing / P. Mayaux [and anothers], 2006. V. 44. № 7-1. 1728-1739 p.
28. GlobCover: the most detailed portrait of Earth II ESA Bulletin-European Space Agency / O. Arino [and anothers], 2008. № 136, 24-31 p.
29. Cihlar, J. Land-cover mapping of large areas from satellites: Status and research priorities. International Journal of Remote Sensing. / J. Cihlar, 2000. – №. 21. - 1093-1114 p.
30. Дистанционное зондирование: количественный подход / Дейвис, Ш.М. [и др.]. – М.: Недра, 1983. – 415 с.

31. Кронберг, П. Дистанционное изучение Земли: основы и методы дистанционных исследований в геологии / П. Кронберг. – М.: Мир, 1988. – 343 с.
32. Gao, B. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space / B. Gao // Remote Sensing of Environment. – 1996. – № 58. – P. 257-266.
33. Трифонов, Т. А. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях / Т. А. Трифонов. – М. : Академический проект, 2005. – 252 с.
34. Асмус, В.В. Справочник потребителя спутниковой информации. // В.В. Асмуса, О.Е. Милехина. – С-Петербург.: Гидромегаиздат, 2005. - 114 с.
35. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2012 году». – М.: НИА-Природа, 2013. – 370 с.
36. Петраковский, И.А. Способ получения спектральных характеристик природных образований : науч. изд. / И.А. Петраковский, Р.Г. Хлебопрос, А.С. Исаев – ВНИИГПЭ, 1976. – 235 с.
37. Кашкин, В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – М., Логос, 2001. – 264 с.
38. Виноградов, Б.В. Результаты комплексной интерпретации космических изображений / Б.В. Виноградов. – т.3. Москва, 1974. – 92 с.
39. Асмус, В.В. Использование радиолокационных данных ИСЗ серии Океан для решения задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды / В.В. Асмус, О.Е. Милехин, В.А. Кровотынцев, А.С. Селиванов // Исслед. Земли из космоса. – 2002. – № 3. – 63-70 с.
40. Валеева, Э. И. Роль водно-болотных угодий в устойчивом развитии севера Западной Сибири. / Э. И. Валеева, Д. В. Московченко; Изд-во ИПОС СО РАН. – Тюмень, 2001. – 229 с.

41. Карпенко, Л.В. Динамика растительного покрова, торфонакопления и углерода в Тугуланской котловине (средняя тайга Енисейского левобережья) /Л.В. Карпенко // География и природные ресурсы, 1996. – № 3. – 74-81 с.

42. Глебов, Ф.З. Болота и заболоченные леса лесной зоны Енисейского левобережья / Ф.З. Глебов. – М.: Изд-во Наука, 1969. – 131 с.

43. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2013 году» – Красноярск, 2014

44. Геологическая служба США [Электронный ресурс] : база данных содержит информацию со спутников Landsat – режим доступа: <http://earthexplorer.usgs.gov>. Загл. с экрана.

45. Кронберг, П. Дистанционное изучение Земли: основы и методы дистанционных исследований в геологии / П. Кронберг – М.: Мир, 1988 – 343 с.

46. Кашкин, В. Б. Цифровая обработка аэрокосмических изображений. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / В. Б. Кашкин, А. И. Сухинин. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 278 с.