

**ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ПРИГОДНОЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ
ЗАГОТОВКИ БИОМАССЫ БОЛОТНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ**

В связи с исчерпанием сырьевых баз в Беларуси актуален переход торфобрикетных заводов и торфопредприятий к использованию возобновляемого сырья. Таким сырьем может быть биомасса растительных сообществ пойменных торфяных месторождений, прежде всего, повторно обводненных после промышленной эксплуатации. Полученная при зимнем скашивании фитомасса может использоваться для производства топливных гранул и упаковочных материалов, а также добавляться к торфяным брикетам.

Для планирования организации уборочных работ фитомассы и загрузки производственных мощностей требуются ежегодные оперативные оценки запасов перспективных для промышленной заготовки биомассы болотных фитоценозов. Дистанционные методы позволяют оперативно оценить данные запасы за многократно меньший промежуток времени по сравнению с наземным обследованием и при этом существенно снизить стоимость выполнения этих работ.

В настоящей работе показаны возможности дистанционной экспресс-оценки запасов фитомассы болотных фитоценозов, пригодной для промышленной заготовки. Работа проведена на исключенной из промышленной эксплуатации юго-западной части торфяного месторождения Докудовское (Лидский район Гродненской области Беларусь) площадью 937 га. В северной части исследуемой территории в 2007 г. проведено повторное обводнение.

Основная часть работы выполнена по снимку спутника Sentinel-2B с датой съемки 10.08.2018. Серия спутников Sentinel-2 представлена двумя околополярными находящимися на одной орбите спутниками-близнецами, расположенными на угловом расстоянии 180° друг от друга. Каждый спутник серии Sentinel-2 содержит единственный мультиспектральный прибор – MultispectralInstrument (MSI), который регистрирует излучение в 13 спектральных каналах видимого диапазона и ближнего и коротковолнового ИК-диапазонов спектра (таблица 1). В работе использованы каналы с пространственным разрешением 10 и 20 м, последние приведены к разрешению 10 м согласно [1]. Использован снимок Sentinel-2 уровня обработки 1C (орторектифицированные снимки, представленные значениями коэффициента отражения на уровне апертуры радиометра с субпиксельной точностью совмещения спектральных каналов). Атмосферную коррекцию выполнил с помощью программы обработки Sen2Cor [2].

Таблица 1 – Спектральные каналы спутников серии Sentinel-2 (S2A и S2B)

Номер канала	S2A		S2B		Пространственное разрешение (м)
	Центральная длина волны (нм)	Ширина канала (нм)	Центральная длина волны (нм)	Ширина канала (нм)	
1	443,9	27	442,3	45	60
2	496,6	98	492,1	98	10
3	560,0	45	559,0	46	10
4	664,5	38	665,0	39	10
5	703,9	19	703,8	20	20
6	740,2	18	739,1	18	20
7	782,5	28	779,7	28	20
8	835,1	145	833,0	133	10
8a	864,8	33	864,0	32	20
9	945,0	26	943,2	27	60
10	1373,5	75	1376,9	76	60
11	1613,7	143	1610,4	141	20
12	2202,4	242	2185,7	238	20

Во время максимума развития фитомассы тростника на территории выбывшей из промышленной эксплуатации юго-западной части торфяного месторождения Докудовское найдены на местности репрезентативные перспективные и неперспективные для промышленной заготовки энергетической фитомассы участки поверхности. Критерий перспективности фитоценоза для заготовки биомассы – сомкнутый полог травянистой растительности высотой более 1,5 м. Древесно-кустарниковую растительность отнес к неперспективным для заготовки, поскольку ее возобновление требует достаточно продолжительного времени, и кроме того, для ее использования требуется дополнительное оборудование для заготовки и измельчения, а также большее предварительное высушивание собранной фитомассы.

Измерены GPS-координаты более 100 наземных контрольных точек с одновременным описанием их расположения на каждом участке и получением фотографии точки измерения. Путем последующего сопоставления наземных путевых точек (waypoints), их описаний и фотографий, а также спутниковых снимков данных участков из разных источников выполнил разделение наземных измерений на обучающую и контрольную выборки. Полученную обучающую выборку дополнил участками с открытыми почвами и антропогенными объектами, открытой водной поверхностью, древесно-кустарниковой растительностью, полигоны с которыми создал непосредственно по спутниковым снимкам разного пространственного разрешения. Суммарная площадь итоговых полигонов, содержащих перспективные для промышленной заготовки биомассы фитоценозы, составила 10,3 га, неперспективные для заготовки участки поверхности – 59,4 га.

Из дальнейших расчетов исключил пиксели с искаженными или вышедшими на насыщение значениями, а также облака и их тени. Итоговая обучающая выборка содержала 6961 пикселя, центры которых попали внутрь 42 полигонов. В свою очередь каждый пиксель содержал 10 значений используемых в работе спектральных каналов.

Для тематического картографирования территории исследования, прежде всего для разделения перспективных и ограниченно перспективных для промышленной заготовки фитомассы болотных фитоценозов, выбрал метод опорных векторов (support vector machines (SVM)), поскольку он более устойчив к уменьшению объема обучающей выборки, чем большинство других методов классификации с обучением.

В качестве базисной функции (ядра) выбрана радиальная функция. Приведение исходных данных к одинаковым диапазонам значений не требовалось, поскольку значения коэффициента отражения уже находятся в диапазоне (0,1).

Коррекция несбалансированности численностей классов обучающей выборки выполнена путем умножения на веса, обратно пропорциональные численностям соответствующих классов и последующего приведения суммы весов к их сумме для сбалансированной выборки.

Для определения оптимальных значений параметров C и γ радиальной базисной функции при оценке точности классификации использован коэффициент кappa [3]. Оценка точности основывалась на перекрестной проверке на достоверность результатов классификации обучающей выборки. Использована 10-кратная перекрестная проверка, т. е. обучающая выборка была разделена на 10 равных частей, и модель обучалась на каждом из 10 сочетаний из 9 частей, используя оставшуюся часть выборки для оценки точности классификации. Итоговый показатель качества классификации рассчитывался как среднее арифметическое всех оценок точности классификации. Процедура оптимизации использовала поиск по сетке с использованием мультиплексивного шага, т.е. последующее значение рассчитывалось путем умножения значения шага на предыдущее значение.

На первом этапе выбрал относительно большие («грубые») значения мультиплексивного шага, равного для обоих параметров 10, для получения ориентировочных значений искомых параметров. Начальные и конечные значения параметров C и γ приняты равными, соответственно, (0,01, 10000) и (0,001, 1000). Полученные значения для параметров C и γ оказались равными, соответственно, 100 и 10. На втором этапе значения шага уменьшил до 2 с ограничением начальных и конечных значений параметров C и γ , соответственно, до (16, 4096) и (1, 64), т.е. до окрестностей полученных на первом этапе значений параметров.

Полученные оптимизированные значения параметров С и γ , соответственно равные 32 и 16, использовал далее для тематической классификации спутникового снимка территории исследования. Использована реализация SVM в библиотеке libSVM [4]. Общая точность классификации, оцененная с помощью 10-кратной перекрестной проверки, составила 99,66%. Значение коэффициента каппа оказалось равным 0,986. Для оценки точности определения отдельных тематических классов в таблице 2 приведена матрица ошибок.

Таблица 2 – Матрица ошибок классификации поверхности юго-западной части торфяного месторождения Докудовское

	Класс	Результаты классификации		Точность производителя, %
		1	2	
Действительные данные	1	5926	9	99,8
	2	15	1011	98,5
Точность пользователя, %		99,7	99,1	

Примечание: 1 – неперспективные для промышленной заготовки биомассы участки поверхности; 2 – перспективные для промышленной заготовки энергетической биомассы фитоценозы.

Полученная тематическая карта выбывшей из промышленной эксплуатации и частично повторно обводненной юго-западной части торфяного месторождения Докудовское приведена на рисунке 1.

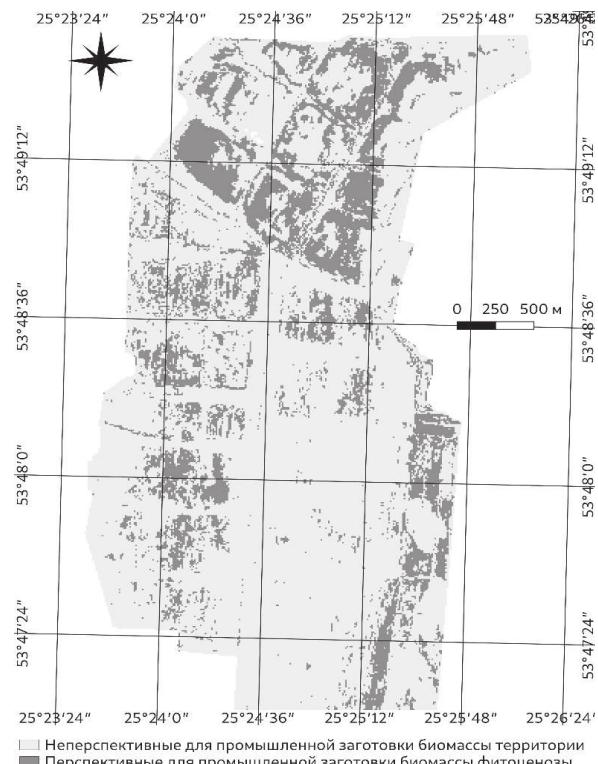


Рисунок 1 – а) фрагмент снимка Sentinel-2 юго-западной части торфяного месторождения Докудовское, RGB-визуализация; б) тематическая карта юго-западной части торфяного месторождения Докудовское по состоянию на 10.08.2018

Площадь перспективных для промышленной заготовки энергетической биомассы фитоценозов составила 206,6 га, неперспективных для промышленной заготовки биомассы участков поверхности – 730,2 га.

По результатам подспутниковых исследований было установлено, что почти все перспективные для промышленной заготовки биомассы фитоценозы представлены тростниково-составами, поэтому оценку запасов сырья на исследованном полигоне выполнил,

используя данные по надземной фитомассе тростниковых фитоценозов торфяного месторождения Докудовское из работы [5]. Фитомасса тростниковых фитоценозов при первом зимнем сборе равнялась 11,7 т/га сухого вещества, на второй год – 4,6 т/га сухого вещества [5].

Экстраполировав данные значения фитомассы на всю площадь перспективных для заготовки энергетической биомассы фитоценозов (206,6 га), получил на зиму 2018–2019 годов 2417 т сухого вещества (на данной территории не проводилась промышленная заготовка энергетической фитомассы). При повторной заготовке фитомассы с исследуемой территории зимой 2019–2020 годов можно было бы ожидать получение 950 т сухого вещества.

В заключение можно отметить, что приведенная методика применима к любым фитоценозам при соответствующем изменении тематических классов.

Список использованных источников

1. Brodu, N. Super-Resolving Multiresolution Images With Band-Independent Geometry of Multispectral Pixels // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2017. – Vol. 55, No. 8. – P.4610-4617.
2. Sen2Cor [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access: <http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>. – Date of access: 25.04.2018.
3. Cohen, J. A coefficient of agreement for nominal scales / J. Cohen // Educational and Psychological Measurement. – 1960. – Vol. 20, No. 1. – P. 37–46.
4. LIBSVM : a library for support vector machines / C.C. Chang, C.J. Lin // ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology. – 2011. – Vol. 2, iss. 3, art. 27. – P. 1–27.
5. Combustibility of biomass from wet fens in Belarus and its potential as a substitute for peat in fuel briquettes / W. Wichtmann [et al.] // Mires and Peat. – 2013. – Vol. 13, art. 6. – P. 1–10.

УДК 504.6:62/69

М.А. Ересько, канд. геогр. наук, Е.В. Баутрель
РУП «БелНИЦ «Экология»

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

Экологизация сознания и мировоззрения человека обусловила актуальность и необходимость создания и развития систем мониторинга окружающей среды на уровне государства и их интеграции на уровне региона различной крупности (микро-, мезо-, макрорегион), что способствует укреплению принципов устойчивого развития общества, одним из которых является внедрение концепции зеленой экономики.

Изменение и дополнение национального природоохранного законодательства протекает в условиях недостатка обстоятельных фундаментальных исследований в сфере мониторинга окружающей среды. Отсутствие должного нормативного закрепления структуры и содержания информационных ресурсов в сфере мониторинга, а также установленных требований их соответствия современному уровню развития технологий привело к недостаточности в обеспечении информационных потребностей органов государственного управления и общественности в комплексной экологической информации о состоянии окружающей среды ввиду низкого уровня программного обеспечения, а также несопоставимости информационных ресурсов по отдельным видам и направлениям мониторинга.

Нормативная неурегулированность крупных блоков, составляющих неотъемлемую часть мониторинга – оценка состояния окружающей среды и прогноз ее изменения – не позволяет проводить глубокий анализ и сравнивать данные мониторинга на разных уровнях обобщения информации для различных территорий ввиду ее разобщенности, что обесценивает значимость мониторинга как основы формирования природоохранной политики государства.