

Особенности системного мониторинга лесопокрываемых ландшафтов в промышленных районах Урала

Татьяна Анатольевна ЛЕБЕДЕВА*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Россия, Новосибирск

Актуальность совершенствования методологии и принципов системного мониторинга лесопокрываемых ландшафтов в промышленных районах состоит в отражении в более полной мере общественной значимости природно-ресурсного потенциала лесных земель, который подвергается существенной трансформации при промышленном освоении территории, в т. ч. при освоении ресурсов недр.

Целью исследования является совершенствование методологии системного мониторинга лесопокрываемых ландшафтов в промышленных районах Урала в соответствии с современными положениями концепции экологически устойчивого развития территории.

Методология системного мониторинга базируется на концепции экологически устойчивого развития территорий (биотической регуляции окружающей среды), учете широкопространственных и долговременных последствий, математическом моделировании природных объектов, явлений и процессов, совмещении процедур сбора и обработки информации с алгоритмами прогноза и принятия решений.

Результаты и их применение. Рассмотрены функции системного мониторинга лесных ландшафтов: мониторинг состояния лесных ландшафтов фиксирует изменение параметров лесных ресурсов, средоформирующих и средозащитных функций; мониторинг использования – контроль целевого и функционального использования, тенденций и динамики использования природно-ресурсного потенциала; мониторинг прогнозирования – формирование моделей природных объектов, явлений и процессов. Изложены основные научно-технологические принципы системного мониторинга лесопокрываемых ландшафтов в промышленных регионах: фиксация и сбор показателей, их накопление и систематизация, представление информации в соответствии с особенностями лесных ландшафтов – классификатором таких участков, прогнозирование изменения параметров лесопокрываемых ландшафтов в промышленных районах. Установлены возможные типы лесовосстановительных смен древостоев на лесопокрываемых ландшафтах в промышленных районах. Приведены результаты комплексной эколого-экономической оценки по данным системного мониторинга растительного покрова (лесов) на территории Собственно-Качканарского месторождения железных руд, подлежащего коренной трансформации (вырубка древостоев).

Ключевые слова: промышленные районы, системный мониторинг, методология, научно-технологические принципы, природные объекты, экологические функции, эколого-экономическая оценка.

Введение
Развитие промышленных районов Урала связано, в первую очередь, с недропользованием. Все существующие горнопромышленные производства расположены среди лесопокрываемых ландшафтов и в течение длительного функционирования оказали существенное трансформирующее влияние на окружающие природные экосистемы [1–3]; их дальнейшая производственная деятельность будет вызывать более сложные воздействия на окружающую среду из-за наличия уже накопленных загрязнений и трансформаций. Все планы дальнейшего развития горнодобывающих и перерабатывающих промышленных комплексов на Урале [4–6] оказываются связанными с необходимостью более детального учета экологических последствий в условиях современных природных, экономических и социальных вызовов и рисков [7–10].

Лесопокрываемые ландшафты составляют часть территорий лесных земель, которые включают и участки, не покрытые лесной растительностью (вырубки, гари, погибшие лесонасаждения). Системный мониторинг лесопокрываемых ландшафтов в общем виде [11–13] представляет собой многоцелевую информационную систему наблюдений, оценки и прогнозирования, состоящую из мониторинга:

- состояния лесных ландшафтов;
- использования лесных ландшафтов;
- прогнозов состояния и использования лесных ландшафтов.

Достоверная информация для прогнозирования состояния лесопокрываемых ландшафтов основывается на обязательном знании о прошлом состоянии лесных экосистем (о параметрах, характеристиках и индикаторах коренных типов леса на конкретных территориях).

Необходимость совершенствования методологии и научно-технических принципов системного мониторинга лесопокрываемых ландшафтов в промышленных регионах вызвана следующими причинами:

- возрастающей экологической значимостью лесных экосистем как основы биотической регуляции на данной территории (трансформация лесных земель ведет к нарушению гидрологического режима территорий, разрушению почв, деградации коренной флоры и фауны) [14];
- незаменимостью лесных экосистем как главного поглотителя и нейтрализатора промышленных загрязнений воздуха, почвы, воды на техногенно освоенной территории Среднего Урала (в год в атмосферу поступают 1,6–1,9 млн т загрязненных вод);
- растущими интересами землепользователей (природопользователей) в переводе лесных земель лесного фонда в земли иных категорий (на Урале, главным образом, в земли промышленности и в земли транспорта);
- недостаточным существующим научно-методическим обеспечением системного мониторинга и земельно-оценочных работ по лесным землям, не отражающим в полной мере общественную (не только с позиций индивидуальных землепользователей) значимость природно-ресурсного потенциала этих земель;
- несоответствием мониторинговых и оценочных работ по лесным землям в настоящее время современным положениям концепции устойчивого развития территорий.

* taranova.ekb@bk.ru

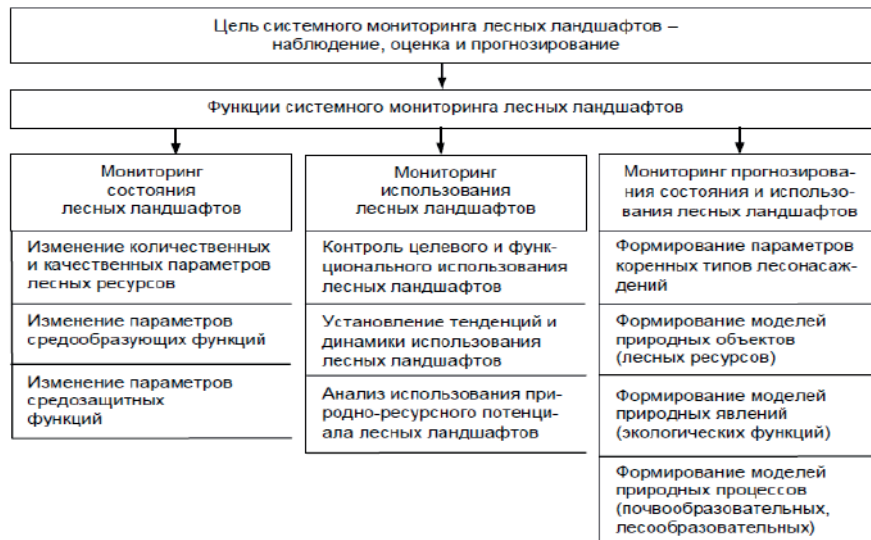


Рисунок 1. Цель и функции системного мониторинга лесопокрываемых ландшафтов в промышленных регионах.
Figure 1. Purpose and functions of system monitoring of forested areas in industrial regions.

Методы

Схема функций системного мониторинга лесных земель в промышленных регионах приведена на рис. 1. Методология системного мониторинга лесопокрываемых ландшафтов в промышленных районах базируется:

- на фундаментальных научных положениях концепции экологически устойчивого развития территорий [15, 16], основой которых является биотическая регуляция окружающей природной среды [17, 18];
- учете широкопространственных и долговременных последствий недропользования в промышленных регионах;
- математическом моделировании природных объектов [19–26], явлений [22] и процессов [23] в пространстве (динамика соотношений древостоев по породному составу и типам лесовосстановления в производных лесах) и во времени (изменения биометрических и биопродуционных параметров лесных земель), позволяющем ввести временной масштаб в прогнозирование состояния лесных экосистем;
- совмещении процедур сбора и обработки данных с моделями структурных элементов лесных экосистем и с алгоритмами прогноза и принятия решений [24] в сфере недропользования в промышленных регионах.

Результаты

Основные научно-технологические принципы системного мониторинга лесопокрываемых ландшафтов в промышленных регионах, учитывающие степень трансформации природных (лесных) объектов, изменения природных явлений в лесных экосистемах и изменения характера лесообразовательных процессов на трансформированных территориях, включают:

- фиксацию и сбор показателей лесопокрываемых ландшафтов; перечень основных натуральных показателей экологического потенциала (средоформирующих функций) лесопокрываемых ландшафтов (табл. 1);
- накопление и систематизацию показателей лесопокрываемых ландшафтов (примеры полученных гистограмм изменения высоты (относительной) древостоев и текущих приростов по запасу древесины на Среднем Урале отражены на рис. 2, 3);
- представление информации по лесопокрываемым ландшафтам в соответствии с особенностями промышленных территорий (система классификаторов участков лесных ландшафтов при системном мониторинге приведена в табл. 2);
- прогнозирование изменения параметров лесных ландшафтов в промышленных регионах (возможные типы лесовосстановительных смен по группам типов леса (сосняков) даны в табл. 3).

Таблица 1. Натуральные показатели средоформирующих функций лесопокрываемых ландшафтов.
Table 1. Physical indicators of the environment-forming functions of forested areas.

| Средоформирующие функции лесопокрываемых ландшафтов | Натуральные показатели функций (качественные и количественные) |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Поддержание состава воздуха атмосферы | Средние периодические приросты древесины. Коэффициенты соизмерения прироста фитомассы отдельных компонентов лесонасаждений. Способность поглощать CO ₂ и выделять O ₂ Коэффициенты, корректирующие эту способность. Объемный вес древесины |
| Водоохранно-водорегулирующая | Показатели атмосферных осадков. Средние многолетние показатели речного стока. Высота древостоев. Коэффициенты, корректирующие рельеф водосбора, породу деревьев, возраст лесонасаждения, его полноту и бонитет |
| Климатоформирующая | Скорость ветра, температура и влажность воздуха и почвы, испарение влаги с поверхности почвы и количество заморозков, накопление снега |
| Средозащитные функции (воздухоочистительная, почвозащитная, водоочистительная) | Минимальная ширина защитных зон (полос) леса. Способность лесной растительности поглощать из атмосферы воздуха газообразные, аэрозольные загрязнения и пыль. Способность напочвенного покрова и воды задерживать загрязнения. Способность лесной растительности противостоять водной эрозии почв |

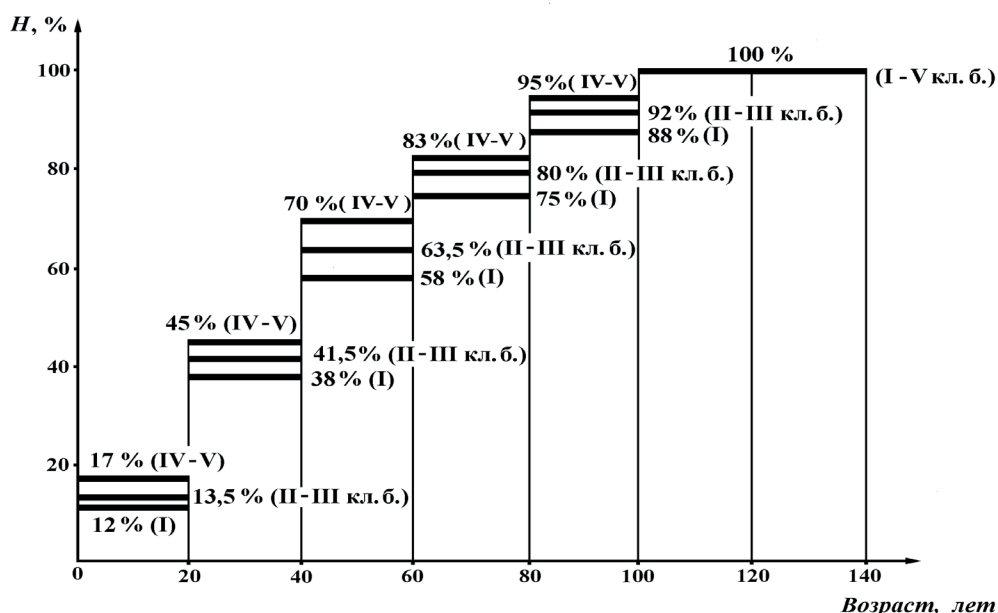


Рисунок 2. Гистограммы изменения относительной высоты хвойных лесонасаждений на Среднем Урале по классам возраста (после обработки данных Н. В. Костина [25], А. В. Тюрина [26], Е. П. Смолоногова [27]).
 Figure 2. Bar graphs of changes in the relative height of coniferous forest plantations in the Middle Urals by age classes (after processing by N. V. Kostin [25], A. V. Tyurin [26], E. P. Smolonogov [27]).

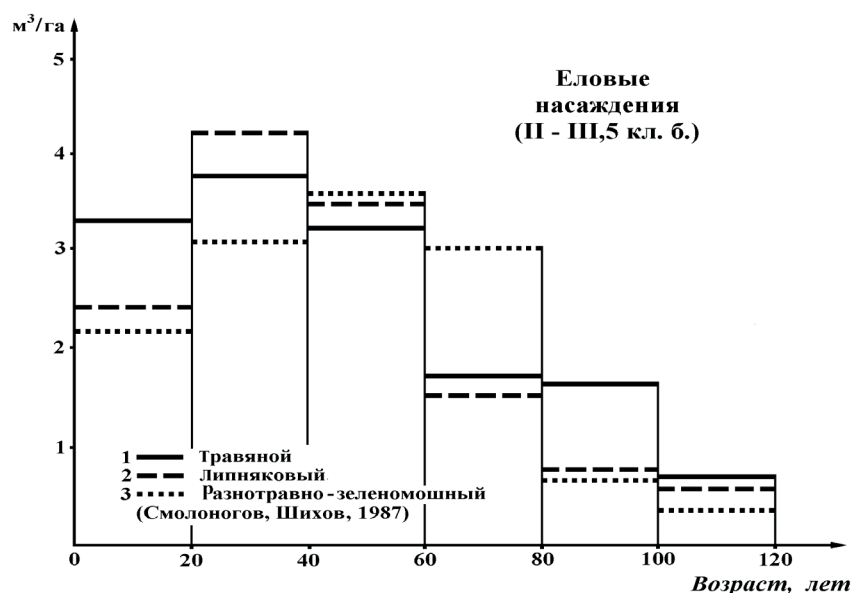


Рисунок 3. Гистограммы изменения текущих периодических приростов по запасу древесины в ельниках Среднего Урала (по исходным данным Е. П. Смолоногова [27], М. И. Гальперина [28]).
 Figure 3. Bar graphs of changes in the current periodic growing stock increment of wood in the spruce grove of the Middle Urals (according to the initial data of E. P. Smolonogov [27], M. I. Galperin [28]).

Результаты системного мониторинга лесопокрываемых ландшафтов являются базой для последующей комплексной оценки таких земельных участков. В табл. 4 представлены результаты расчёта по данным системного мониторинга и комплексной эколого-экономической оценке растительного покрова (лесных экосистем) на территории планируемой разработки Собственно-Качканарского месторождения железных руд, подлежащего коренной трансформации (вырубка древостоев).

Использована шкала кадастровой стоимости лесных земель из Постановления Правительства Свердловской области № 1276-ПП¹ с учетом коэффициентов инфляции за период 1999–2018 гг.

¹О кадастровой оценке лесов Свердловской области: постановление Правительства Свердловской области № 1276-пп от 04.11.1999 г.

Таблица 2. Система классификаторов участков лесопокрытых ландшафтов при системном мониторинге.
Table 2. The system of classifiers of forested areas with system monitoring.

| Категории земель | Виды функционального использования лесных участков | Природные (лесные блага) | Виды эффектов | | |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| | | | Начальный | Промежуточный | Конечный |
| Земли сельскохозяйственного назначения | Эксплуатационные леса | Лесные ресурсы | Круглые лесоматериалы | Пиломатериалы | Здания, сооружения |
| | Заросшие сельхозугодия | Поглощение CO ₂ Выделение O ₂ | | | |
| Земли населенных пунктов | Рекреационные (зеленые) зоны | <i>Средообразующие функции</i> (климат, почва) | Рекреационные нагрузки | – | Уровень заболеваемости населения Продолжительность жизни |
| | Лесопарки | <i>Средозащитные функции</i> (воздух, вода, почва) | | | |
| Земли лесного фонда | Эксплуатационные леса | <i>Средообразующие функции</i> (климат, почва) | Крупные лесоматериалы: щепы, дрова | Пиломатериалы, плиты, целлюлоза | Здания, сооружения, дома, мебель, бумага, картон |
| | Защитные леса: виды защитных лесов | <i>Средозащитные функции</i> (воздух, вода, почва) | | | |

Таблица 3. Возможные типы лесовосстановительных смен древостоев на лесопокрытых ландшафтах в промышленных районах (использованы данные Б. П. Колесникова [29], Е. П. Смолоногова [27], Р. П. Исаевой [30]).
Table 3. Possible types of reforestation shifts of growing stock on forested areas in industrial regions (data from B. P. Kolesnikov [29], E. P. Smolonogov [27], R. P. Isaeva [30]).

| Группа типов леса | Сосняки | | Ельники | |
|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| | С подростом предварительной генерации | Без подростка предварительной генерации | С подростом предварительной генерации | Без подростка предварительной генерации |
| Брусничная | 1 | 2; 3 | – | – |
| Ягодниковая | 1 | 2; 3 | 1; 3 | 3; 4; 5 |
| Липняковая | 1; 3 | 4; 5 | 3 | 5 |
| Разнотравная | 1; 3 | 4; 5 | 3 | 4; 5 |
| Травяно-зеленомошная | 1; 3 | 4; 5 | 1;3 | 3; 4; 5 |
| Мшисто-хвощовая | 1; 3 | 4; 5 | 1; 3 | 4; 5 |
| Сфагновая, травяно-болотная | 1; 3 | 4; 5 | 3 | 4; 5 |

Примечание. Условные обозначения типов лесовосстановительных смен: 1 – условно-коренные хвойные из подростка предварительной генерации; 2 – условно-коренные хвойные при последующем возобновлении; 3 – коротко-производные лиственные; 4 – длительно-производные лиственные; 5 – устойчиво-производные лиственные.

Note. Legend of types of reforestation shifts: 1 – nominally primary coniferae from the young growth of preliminary generation; 2 – primary coniferae with subsequent renewal; 3 – short-term secondary deciduous; 4 – secondary permanent deciduous; 5 – secondary sustained deciduous.

Таблица 4. Комплексная эколого-экономическая оценка растительного покрова (лесов) на территории Собственно-Качканарского месторождения железных руд.

Table 4. Comprehensive ecological feasibility study of cover crop (forests) within the territory of the Sobstvenno-Kachkanarsky iron ore deposit.

| Преобладающая порода древостоя | Площадь, га | Стоимость, млн руб. | | | Всего |
|--------------------------------|-------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------|-------|
| | | лесных ресурсов | средоформирующих функций леса | социальных функций леса | |
| Горные леса | | | | | |
| сосна | 1000 | 22 | 158 | – | 180 |
| ель | 300 | 5,5 | 36,5 | – | 42 |
| береза | 200 | 3,5 | 18,5 | – | 24 |
| Кедровники (кедр) | 250 | 20 | 70 | – | 90 |
| Зеленая зона, г. Качканар | 4 | | | | |
| сосна | – | 12 | 60 | 72 | 144 |
| ель | 100 | 2 | 12 | 14 | 28 |
| береза | 250 | 4 | 20 | 36 | 60 |
| <i>Итого</i> | 2500 | 69 | – | 122 | 568 |

Заключение

Таким образом, методология системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов в промышленных районах основывается на биологической регуляции окружающей среды, учете широкопространственных и долговременных последствий природопользования, моделировании природных объектов, явлений и процессов, совмещении процедур сбора и обработки информации данных с алгоритмами прогноза. Научные принципы системного мониторинга включают фиксацию и сбор показателей лесных ландшафтов, их накопление и систематизацию, представление информации в системе классификаторов и прогнозирование изменяемых параметров. Обоснованная методология и разработанные принципы системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов могут быть использованы при решении практических задач устойчивого землепользования в промышленных регионах при освоении ресурсов недр.

Статья подготовлена при поддержке и в рамках гранта РФФИ № 17-06-00433.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вершинина Е. Ю., Кузнецова А. В. Экологические требования к организации горнодобывающей деятельности: российский и международный подходы // Изв. вузов. Горный журнал. 2011. № 11. С. 154–159.
2. Игнатьева М. Н., Литвинова А. А. Экологизация социально-экономического подхода к освоению природных ресурсов // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 3. С. 57–62.
3. Антонинова Н. Ю., Чайкина Г. М., Рыбникова Л. С., Шубина Л. А., Фельдман А. Л. Геоэкологические проблемы земле- и водопользования на месторождениях Урала // Изв. вузов. Горный журнал. 2012. № 1. С. 89–92.
4. Душин А. В., Пахомов В. П. Перспективы формирования сырьевой базы наукоемких отраслей // Материалы 14-й науч.-практ. конф. Ханты-Мансийск, 2013. Т. 2. С. 125–133.
5. Ильин С. А., Коваленко В. С., Пастихин Д. В. Открытые горные работы на Урале: настоящее и будущее // Горный журнал. 2013. № 2. С. 95–100.
6. Корнилов С. В., Лаптев Ю. В., Кантемиров В. Д. Стратегия освоения месторождений полезных ископаемых Приполярного Урала // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. № 7. С. 30–37.
7. Замолодчиков Д. Г. Антропогенные и естественные компоненты динамики температуры на территории России // Использование и охрана природных ресурсов России. 2013. № 1. С. 36–42.
8. Шполянская Н. А. Устойчивость вечной мерзлоты к глобальным изменениям климата // Использование и охрана природных ресурсов. 2013. № 6. С. 37–41.
9. Quiggin J. *Zombie Economics. How dead ideas walk among us.* Princeton: Princeton University Press, 2010. 288 p.
10. Global Wealth 2017: The Year in Review. URL: <https://www.creditsuisse.com/corporate/en/research/research-institute/global-wealth-report.html>
11. Исаев А. С. Мониторинг биологического разнообразия лесов России: методология и методы. М.: Наука, 2002. 453 с.
12. Каевицер В. И., Крапивин В. Ф., Потапов И. И. Экономически эффективная информационно-моделирующая технология мониторинга лесных экосистем и оценка их роли в изменении климата // Экономика природопользования. 2015. № 4. С. 57–61.
13. Лебедева Т. А. Мониторинг трансформации лесных земель на Среднем Урале // ИнтерэкспоГео-Сибирь: сб. материалов XII междунар. науч. конф. Новосибирск: СГУГиТ, 2016. С. 176–181.
14. Косолапов О. В., Игнатьева М. Н. Экологически устойчивое недропользование: понятие, основополагающие принципы // Изв. вузов. Горный журнал. 2019. № 2. С. 79–89.
15. The report of the United Nations on the environment and development, Rio de Janeiro, on June 3–14, 1992, vol. I, Resolutions adopted at the Conference. [http://undocs.org/ru/A/CONF.15/26/REV.1\(VOL.I\)](http://undocs.org/ru/A/CONF.15/26/REV.1(VOL.I))
16. The report at the world summit on sustainable development. Johannesburg, South Africa. 2002. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901893000>
17. Горшков В. Г. Структура биосферных потоков энергии // Ботанический журнал. 1980. № 11. С. 1579–1590.
18. Vitousek P. M., Ehrlich P. R., Ehrlich A. E., Matson P. A. Human appropriation of the products of photosynthesis // BioScience. 1986. Vol. 36, issue 6. С. 368–373. <https://doi.org/10.2307/1310258>
19. Mayer H. The vertical distribution of the net radiation budget within a spruce forest in summer // Meteorology and Atmospheric Physics. 1981. Vol. 29, № 4. P. 381–392. <https://doi.org/10.1007/BF02263313>
20. Sellers P. J. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration // Int. J. Remote Sens. 1985. № 6. P. 1335–1372.
21. Takanao A., Yasushi Y. Estimation of latent heat flux in forest areas by ASTER data // Proceedings of the Conference of the Remote Sensing Society of Japan. 2006. Vol. 41. P. 311–312.
22. Tunick A. A radiation and energy budget algorithm for forest canopies // Meteorology and Atmospheric Physics. 2006. Vol. 91, № 1-4. P. 237–246.
23. Лебедева Т. А., Трубина Л. К. Модели лесных земель как базовые блоки геоинформационных систем мониторинга в землепользовании // Вестник СГУГиТ. 2017. Т. 22, № 1. С. 178–189.
24. Lebedeva T. A., Kopylova Yu. Yu. Prediction and decision-making algorithms in system monitoring of forest lands. URL: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/iscfec-18>
25. Костин Н. В., Иванов В. Ф., Животовский В. В. Производительность еловых насаждений на автотрофных почвах разного механического состава // Теория лесообразовательного процесса. Красноярск, 1991. С. 75–76.
26. Тюрин А. В., Науменко Н. М., Воронцов П. В. Лесная вспомогательная книжка. М.: Лесная промышленность, 1956. 532 с.
27. Смолоногов Е. П. Лесообразовательный процесс и проблемы лесной типологии // Лесообразовательный процесс на Урале и в Зауралье. Екатеринбург, 1996. С. 4–25.
28. Гальперин М. И., Николин А. А. Ландшафтная таксация лесопарковых насаждений. Свердловск: УФАН СССР. 136 с.
29. Колесников Б. П., Зубарева Р. С., Смолоногов Е. П. Лесообразовательные условия и типы лесов Свердловской области (практич. руководство). Свердловск: Изд-во ИЭРиЖ, 1973. 176 с.
30. Исаева Р. П. Экологизация систем ведения лесного хозяйства – основа рационального лесопользования // Наука и оборонный комплекс – основные ресурсы российской модернизации. Екатеринбург, 2002. С. 508–510.

Статья поступила в редакцию 28 мая 2019 г.

Features of system monitoring of forested areas in industrial regions of the Urals

Tat'yana Anatol'evna LEBEDEVA*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

Relevance of the work: The relevance of improving the methodology and principles of system monitoring of forested areas in industrial regions is to reflect more fully the social significance of the natural-resource potential of forest land, which undergoes a significant transformation during industrial development of the territory, including the development of subsoil resources.

The purpose of the study is to improve the methodology of system monitoring of forested areas in industrial regions of the Urals in accordance with the current situation of environmentally sustainable development of the territory.

The system monitoring methodology is based on the concept of environmentally sustainable development of territories (biotic regulation of the environment), taking into account spatial and long-term effects, mathematical modeling of natural objects, phenomena, and processes, combining information collection and processing procedures with forecast and decision-making algorithms.

Results and their application. The functions of system monitoring of forested areas are considered: monitoring of the state of forested areas fixes changes in the parameters of forest resources, environment-forming, and environmental functions; monitoring of use – monitoring of target and functional use, trends and dynamics of the use of natural resource potential; monitoring forecasting – the formation of models of natural objects, phenomena and processes. The main scientific and technological principles of system monitoring of forested areas in industrial regions are outlined: fixation and collection of indicators, their accumulation, and systematization, presentation of information in accordance with the characteristics of forested areas (classifier of such sites), forecasting changes in the parameters of forested areas in industrial regions. The possible types of reforestation shifts of growing stock on forested areas in industrial regions are established. The results of a comprehensive environmental and economic assessment are given according to the system monitoring of cover crop (forests) within the territory of the Sobstvenno-Kachkanarsky iron ore deposit, which ought to be radically transformed (clearance of growing stock).

Keywords: industrial regions, system monitoring, methodology, scientific and technological principles, natural objects, environmental functions, environmental and economic assessment.

This paper was prepared with the support and within the framework of the The Russian Foundation for Basic Research grant No 17-06-00433.

REFERENCES

1. Vershinina E. Yu. Kuznetsova A. V. 2011, Environmental requirements for the organization of mining activities: Russian and international approaches. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 11, pp. 154–159. (In Russ.)
2. Ignat'eva M. N., Litvinova A. A. 2015, Ecologization of the social and economic approach to the development of natural resources. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 3, pp. 57–62. (In Russ.)
3. Antoninova N. Yu., Chaikina G. M., Rybnikova L. S., Shubina L. A., Feldman A. L. 2012, Geocological problems of land and water use in the Ural fields. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 1, pp. 89–92. (In Russ.)
4. Dushin A. V., Pakhomov V. P. 2013, *Perspektivy formirovaniya syr'yevoy bazy naukoymkikh otrasley* [Prospects for the formation of the resource base of high-tech industries]. Proceeding of the 14th research/practice conference. Khanty-Mansiysk, vol. 2, pp. 125–133.
5. Il'in S. A., Kovalenko V. S., Pastikhin D. V. 2013, Open pit mining in the Urals: present and future. *Gornyi zhurnal* [Mining journal], no. 2, pp. 95–100. (In Russ.)
6. Kornilov S. V., Laptsev Yu. B., Kantemirov V. D. 2013, The strategy for the development of mineral deposits of the Subpolar Urals. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 7, pp. 30–37. (In Russ.)
7. Zamolodchikov D. G. 2013, Anthropogenic and natural components of temperature dynamics in Russia. *Ispol'zovaniye i okhrana prirodnnykh resursov Rossii* [Use and protection of natural resources of Russia], pp. 36–42. (In Russ.)
8. Shpolyanskaya N. A. 2013, Steadiness of permafrost to global climate change. *Ispol'zovaniye i okhrana prirodnnykh resursov Rossii* [Use and protection of natural resources of Russia], no. 6, pp. 37–41. (In Russ.)
9. Quiggin J. 2010, *Zombie Economics. How dead ideas walk among us*. Princeton: Princeton University Press, 288 p.
10. Global Wealth 2017: The Year in Review. URL: <https://w.w.creditsuisse.com/corporate/en/research/research-institute/global-wealth-report.html>
11. Isaev A. S. 2002, *Monitoring biologicheskogo raznoobraziya lesov Rossii: metodologiya i metody*. [Monitoring of forest biological diversity in Russia: methodology and methods]. Moscow, 453 p.
12. Kaevitser V. I., Krapivin V. F., Potapov I. I. 2015, Cost-effective information-modeling technology for monitoring forest ecosystems and assessing their role in climate change. *Ekonomika prirodoopol'zovaniya* [Economics of nature use], no. 4, pp. 57–61. (In Russ.)
13. Lebedeva T. A. 2016, Monitoring the transformation of forest land in the Middle Urals. IntyerekspoGyeo-Sibiria, collection of papers of XII international scientific conference. Novosibirsk, p. 176–181.
14. Kosolapov O. V., Ignatieva M. N. 2019, Environmentally sustainable subsoil use: concept, fundamental principles. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 2, pp. 79–89. (In Russ.)
15. 2002, The report of the United Nations on the environment and development, Rio de Janeiro, on June 3–14, 1992, vol. I, Resolutions adopted at the Conference. [http://undocs.org/ru/A/CONF.15/26/REV.1\(VOL.I\)](http://undocs.org/ru/A/CONF.15/26/REV.1(VOL.I))
16. The report at the world summit on sustainable development. Johannesburg, South Africa. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901893000>
17. Gorshkov V. G. 1980, Structure of biospheric energy flows. *Botanicheskii Zhurnal* [Botanic journal], pp. 1579–1590. (In Russ.)
18. Vitousek P. M., Ehrlish P. R., Ehrlish A. E., Matson P. A. 1986, Human appropriation of the products of photosynthesis. *BioScience*, vol. 36, issue 6, pp. 368–373. <https://doi.org/10.2307/1310258>
19. Mayer H. 1981, The vertical distribution of the net radiation budget within a spruce forest in summer. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 29, no. 4, pp. 381–392. <https://doi.org/10.1007/BF02263313>
20. Sellers P. J. 1985, Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *Int. J. Remote Sens.*, no. 6, pp. 1335–1372.
21. Takanao A., Yasushi Y. 2006, Estimation of latent heat flux in forest areas by ASTER data. Proceedings of the Conference of the Remote Sensing Society of Japan, vol. 41, pp. 311–312.

*✉ taranova.ekb@bk.ru

22. Tunick A. 2006, A radiation and energy budget algorithm for forest canopies. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 91, no. 1-4, pp. 237–246.
23. Lebedeva T. A. Trubina L. K. 2017, Forest land models as basic blocks of geoinformation monitoring systems in land use. *Vestnik SGUGiT* [Bulletin of the Siberian State University of Geosystems and Technologies], vol. 22, no. 1. pp. 178–189. (*In Russ.*)
24. Lebedeva T. A., Kopylova Yu.Yu. Prediction and decision-making algorithms in system monitoring of forest lands. URL: <https://www.atlantis-pub.com/proceedings/isfcfec-18>.
25. Kostin N. V., Ivanov V. F., Zhivotovsky V. V. 1991, *Proizvoditel'nost' yelovykh nasazhdeniy na avtotrofnnykh pochvakh raznogo mekhanicheskogo sostava* [Productivity of spruce plantations on autotrophic soils of different texture]. Theory of forest formation process. Krasnoyarsk, pp. 75–76.
26. Tyurin A. V., Naumenko N. M. Vorontsov P. V. 1956, Forest supplemental book. Moscow, 532 p.
27. Smolonogov E. P. 1996, *Lesoobrazovatel'nyy protsess i problemy lesnoy tipologii* [Forest formation process and problems of forest typology]. Forest formation process in the Urals and in the Trans-Urals. Ekaterinburg, pp. 4–25.
28. Galperin M. I., Nikolin A. A. Landscape taxation of forest-park plantations. Sverdlovsk, 136 p.
29. Kolesnikov B. P., Zubareva R. S., Smolonogov E. P. 1973, Forest formation conditions and types of forests of the Sverdlovsk region (practitioner guide). Sverdlovsk, 176 p.
30. Isayeva R. P. 2002, *Ekologizatsiya sistem vedeniya lesnogo khozyaystva – osnova ratsional'nogo lesopol'zovaniya* [Greening forest management systems is the basis for sustainable forest management]. Science and defense complex – the main resources of the Russian modernization. Ekaterinburg, pp. 508–510.

The article was received on May 28, 2019