



УДК 556.51:528.87

Оценка состояния водосбора реки Селенги по спутниковым данным

Е. Н. Сутырина (ensut@rambler.ru)

Аннотация. В статье представлены результаты исследования негативных изменений подстилающей поверхности в пределах водосборного бассейна реки Селенги на основе данных радиометра AVHRR.

Ключевые слова: река Селенга, трансграничный водный объект, водосборный бассейн, индекс NDVI.

Актуальность

Водосборный бассейн представляет собой систему различных по структуре и функциям ландшафтных образований, которые объединяются в ландшафтно-гидрологическую систему. Между географическим строением водосборного бассейна и функционированием гидрографической сети существует тесная связь [8]. В гидрографической сети любого водосборного бассейна преобладают ручьи и малые реки. Главной особенностью формирования стока малых рек является их тесная связь с ландшафтом водосборного бассейна. Малые реки выполняют функции регулятора водного режима ландшафтов, поддерживая равновесие и перераспределение влаги. Кроме этого они определяют гидрологическую и гидрохимическую специфику средних и крупных рек. Это обуславливает их уязвимость при чрезмерном использовании как водных ресурсов, так и поверхности водосбора. Следовательно, антропогенное воздействие на малые реки обусловлено хозяйственной деятельностью, которая осуществляется и на самих водотоках, и в пределах водосборных бассейнов. Таким образом, необходимо выделять факторы хозяйственной деятельности, воздействующие на водный объект посредством изменения поверхности водосборов (агротехнические мероприятия, осушение болот и заболоченных земель, вырубка лесов, урбанизация и т. п.) [10]. Синюковичем В. Н. [11] на примере другого притока оз. Байкал – р. Баргузин – было подтверждено существование связи между преобразованием подстилающей поверхности водосбора и уменьшением водности реки.

Хозяйственная деятельность, ведущаяся в пределах водосбора реки Селенги без соблюдения необходимых экологических требований, привела к серьезным негативным изменениям окружающей среды: нарушению водного баланса; усилению эрозионных процессов; загрязнению вод реки Селенги продуктами эрозии почв и смываемыми с полей органическими

веществами; изменению структуры стока в сторону увеличения поверхностного; ухудшению экологической обстановки и увеличению пожарной опасности в лесу; возникновению болезней леса; интенсификации селей и лавин [3].

Ситуация осложняется тем, что р. Селенга является трансграничным водным объектом, и 46 % её годового стока формируется на территории Монголии. Часть водосбора р. Селенги на территории Монголии является наиболее плотно населенной и интенсивно осваиваемой территорией, где сосредоточены крупнейшие города Монголии, размещены горнодобывающая, металлургическая, химическая отрасли промышленности, расположены пахотные, пастбищные и сенокосные поливные земли [9].

В условиях изучения трансграничной реки данные дистанционного зондирования предоставляют возможность следить за состоянием всего водосборного бассейна и выделять территории, нарушенные в результате хозяйственной деятельности или по естественным причинам. В связи с приведенными выше причинами основной целью данного исследования является оценка негативных изменений подстилающей поверхности в пределах водосборного бассейна р. Селенги на основе данных дистанционного спутникового зондирования.

Исходные данные

В рамках данного исследования были использованы данные радиометра AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), установленного на борту метеорологических спутников серии NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), отобранные из архива телеметрии Центра космического мониторинга Института солнечно-земной физики СО РАН.

Радиометр AVHRR представляет собой типичный сканер и измеряет собственное и отраженное Землей излучение в пяти спектральных диапазонах: 0,58–0,68 мкм; 0,725–1,0 мкм; 3,55–3,93 мкм; 10,3–11,3 мкм; 11,4–12,4 мкм [6]. Линейный размер элемента разрешения на местности радиометра AVHRR составляет около 1,1 км в надире. Изображения со спутников передаются на Землю в реальном масштабе времени на частоте 1700 МГц в режиме HRPT (High Resolution Picture Transmission). Полученное изображение охватывает полосу земной поверхности шириной 2600 км по трассе движения спутника, что обеспечивает полный обзор водосборного бассейна реки Селенги за один пролет.

Методика исследований

Для картографирования и анализа различных типов подстилающей поверхности в пределах водосбора р. Селенги в рамках настоящего исследования был использован индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [18]. NDVI является одним из самых используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова [1, 5]. Вычисляется индекс NDVI по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{A_2 - A_1}{A_2 + A_1}, \quad (1)$$

где A_2 – отражательная способность в ближней инфракрасной области спектра; A_1 – отражательная способность в красной области спектра.

Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6–0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в ближней инфракрасной области (0,7–1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. Высокая фотосинтетическая активность (как правило, связанная с густой растительностью) ведет к уменьшению отражательной способности в красной области спектра и увеличению в инфракрасной [1]. Использование нормализованной разности между минимумом и максимумом отражательной способности делает возможным отделять и классифицировать растительные объекты от прочих природных объектов и позволяет компенсировать разные условия визирования со спутника.

Благодаря особенности отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра, природные объекты, не связанные с растительностью, имеют фиксированное значение NDVI, что позволяет также использовать этот параметр для их идентификации.

NDVI может быть рассчитан на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющих спектральные каналы в красном и ближнем инфракрасном диапазонах. В данной работе расчет NDVI производился по данным прибора AVHRR. Для этого из архива телеметрии Центра космического мониторинга Института солнечно-земной физики СО РАН были отобраны дневные снимки с низким содержанием облачности, охватывающие водосбор р. Селенги за период с 1998 по 2009 г. за третью декаду июля и первую декаду августа, когда контрасты значений индекса NDVI для разных типов подстилающей поверхности максимальны.

Значения индекса NDVI для различных типов подстилающей поверхности, характерных для водосбора р. Селенги, уточнялись на основании сопоставления с современными и ретроспективными картографическими материалами и крупномасштабными космофотоснимками, частично покрывающими изучаемую территорию в отдельные годы, по различным литературным источникам [4, 7, 13–17]. На основе указанных материалов было определено физическое содержание классов (табл. 1) и составлены разновременные карты состояния поверхности в пределах всего водосбора р. Селенги.

Таблица 1

Значение NDVI для каждого типа подстилающей поверхности

| Классификационный индекс | Тип подстилающей поверхности |
|--------------------------|---|
| A | Тайга и смешанный лес (густая растительность) |
| B | Тайга и смешанный лес (разреженная растительность) |
| C | Лесостепь, кустарниковая растительность |
| D | Степь, сельскохозяйственные угодья, луга |
| E | Заболоченные участки, открытая почва, пустыни, полупустыни, крупные населенные пункты |
| F | Вода |

Для обработки спутниковых снимков в работе были использованы средства программного комплекса «Sputnik», разработанного Институтом космических исследований РАН и предназначенного для проведения обработки данных различных систем дистанционного зондирования [2].

Технологическая схема обработки спутниковых данных включала следующие этапы:

- предварительную обработку, представляющую собой подготовку изображений к тематической обработке (выравнивание динамических диапазонов, уточнение привязки на основе адаптированной автором системы [12], преобразование картографической проекции, и т. д.);
- расчет индекса NDVI и выполнение процедуры классификации;
- составление тематических карт изучаемой территории;
- анализ составленных карт методом гистограмм, заключающийся в определении по гистограммам количества пикселей и соответствующий площади, занимаемой тем или иным типом подстилающей поверхности в различные годы.

Площади, занимаемые различными типами подстилающей поверхности, в пределах всего водосборного бассейна реки Селенги, отдельно для части бассейна на территории России и на территории Монголии приведены на рис. 1–3.

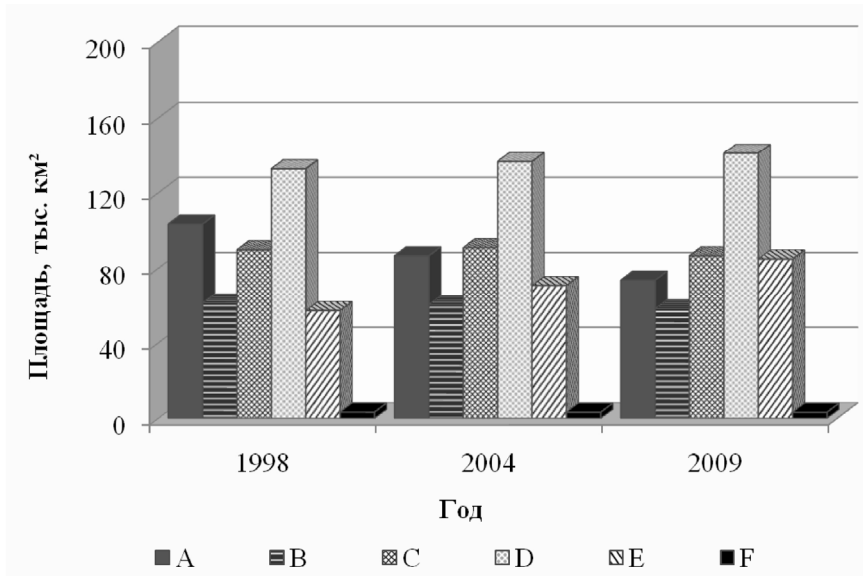


Рис. 1. Распределение типов подстилающей поверхности в пределах всего водосборного бассейна р. Селенги (соответствие классификационных индексов типам подстилающей поверхности приведено в табл. 1)

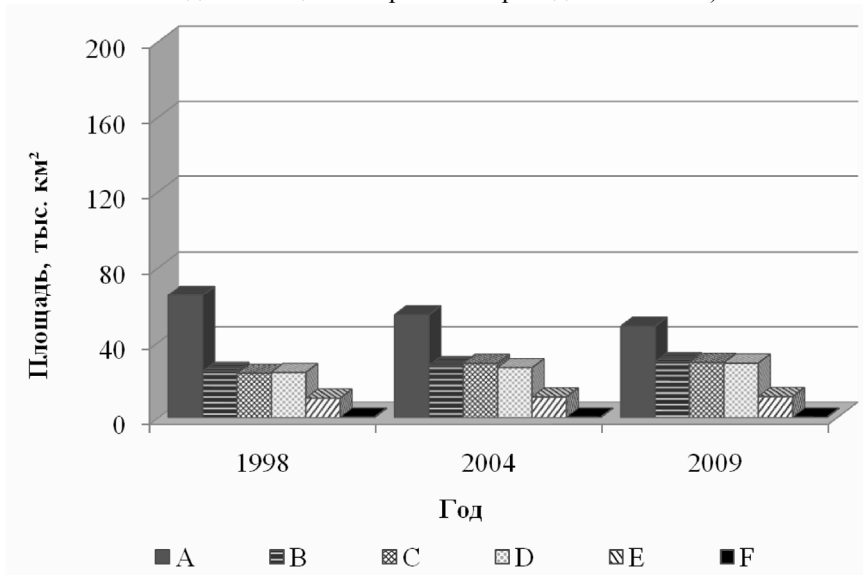


Рис. 2. Распределение типов подстилающей поверхности в пределах части водосборного бассейна р. Селенги на территории России (соответствие классификационных индексов типам подстилающей поверхности приведено в табл. 1)

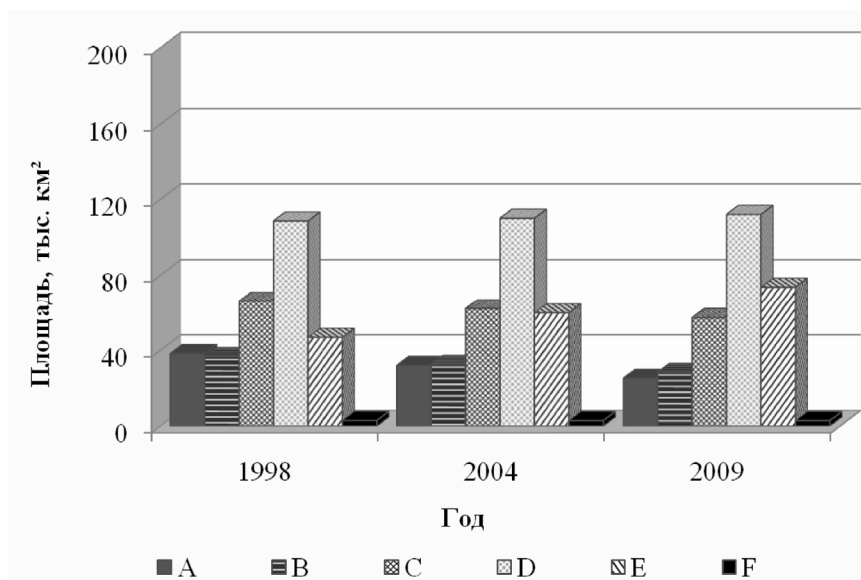


Рис. 3. Распределение типов подстилающей поверхности в пределах части водосборного бассейна р. Селенги на территории Монголии (соответствие классификационных индексов типам подстилающей поверхности приведено в табл. 1)

Результаты

На основании сопоставления классов на составленных картах с преобладающими классами на крупномасштабных космофотокартах, фрагментарно покрывающими изучаемую область и соответствующими по времени, было установлено, что все выделенные классы достоверно дешифрируются по спутниковым данным. Самый высокий процент распознавания имеют густая тайга и смешанный лес. Используемый методологический подход позволяет добиться удовлетворительного уровня достоверности и точности определения типов подстилающей поверхности по значениям индекса NDVI.

Полученные в работе приближенные оценки свидетельствуют о значительном сокращении площади лесных угодий на территории всего водосбора. Этот процесс интенсивно протекает на территории российской и монгольской частей. Кроме этого на территории Монголии наблюдается существенное увеличение пустынных участков и участков с открытой почвой.

По результатам проведенного исследования можно сделать выводы, что в водосборном бассейне р. Селенги идет интенсивная трансформация ландшафтов. Сохранение выявленных темпов деградации ландшафтов неизбежно приведет к существенному сокращению гидрографической сети и изменению водного режима р. Селенги за счет развития антропогенной эрозии почв на водосборе и поступления в малые реки избыточного по отношению к транспортирующей способности потока количества наносов, что обусловит их обмеление и пересыхание.

В дальнейшем для уточнения полученных результатов планируется привлечение снимков более крупного масштаба, в частности, спектрорадиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), а также использование совокупности вегетационных индексов поверхности (NDVI, EVI, SAVI и др.) и проведение подспутниковых исследований на тестовых полигонах.

Полученные результаты могут найти применение для решения задач устойчивого управления природными, и прежде всего водными и лесными, ресурсами и охраны окружающей среды.

Список литературы

1. Возможности анализа архивов спутниковых данных для выбора годов аналогов в системе дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК) / В. А. Толпин [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов : сб. науч. ст. – М., 2009. – Т. 2, вып. 6. – С. 560–571.
2. Возможности построения автоматизированных систем обработки спутниковых данных на основе программного комплекса XV_SAT / В. А. Егоров [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений : сб. науч. ст. – М., 2004. – С. 431–436.
3. *Гулгонов В. Г.* Влияние отраслей народного хозяйства Республики Бурятия на состояние окружающей природной среды / В. Г. Гулгонов, Н. Г. Рыбальский // Экологические проблемы Байкала и Республики Бурятия материалы заседания Круглого стола «Байкал – памятник мирового природного наследия» в рамках Дней Бурятии в Москве. – М., 1996. – С. 53–90.
4. *Елсаков В. В.* Технологии дистанционного зондирования в исследовании свойств растительных сообществ бассейна р. Новая Нерута / В. В. Елсаков, С. Н. Плюсин, В. М. Щанов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2006. – Т. 3, № 2. – С. 315–319.
5. *Золотокрылин А. Н.* Климатическое опустынивание / А. Н. Золотокрылин. – М. : Наука, 2003. – 246 с.
6. *Кашкин В. Б.* Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений / В. Б. Кашкин, А. И. Сухонин. – М. : Логос, 2001. – 264 с.
7. *Китаев Л. М.* Тенденции снегонакопления на территории Северной Евразии / Л. М. Китаев, Т. Б. Титкова, Е. А. Черенкова // Криосфера Земли. – 2007. – Т. 11, № 3. – С. 71–77.
8. *Копысов С. Г.* Ландшафтная гидрология геосистем лесного пояса Центрального Алтая : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / С. Г. Копысов. – Томск, 2005. – 18 с.
9. *Лехатинов А. М.* Экогеологическая обстановка и основные особенности изучения ее состояния в бассейне озера Байкал [Электронный ресурс] / А. М. Лехатинов. – Режим доступа: <http://council.gov.ru/files/journalsf/item/20061208111915.pdf> 15.03.2010
10. *Семенов В. А.* Ресурсы пресной воды и актуальные задачи гидрологии / В. А. Семенов // Соросов. образоват. журн. – 1996. – № 10. – С. 63–69.

11. Синюкович В. Н. Современные изменения стока рек юга Восточной Сибири / В. Н. Синюкович // Географические закономерности гидрологических процессов юга Восточной Сибири / отв. ред. В. А. Снытко, Л. М. Корытный. – Иркутск, 2003. – С 144–167.
12. Сутырина Е. Н. Компьютерные методы географической привязки спутниковых изображений оз. Байкал / Е. Н. Сутырина // Вестн. ИргТУ. – 2009. – № 1. – С. 42–46.
13. Analysis of vegetation isolines in red-NIR reflectance space / H. Yoshioka [et al.] // Remote Sens. of Environ. – 2000. – N 74. – P. 313–326.
14. Assessing the impacts of the 2003 hot and dry spell with SPOT HRVIR images time series over south-western France / L. Colet [et al.] // International Journal of Remote Sensing. – 2005. – N 11, vol. 26. – P. 2461–2469.
15. Huete A. R. Environmental monitoring with remote sensing / A. R. Huete, J. Artiola, I. Pepper // Environmental Monitoring and Characterization. – N. Y. : Acad. Press, 2004. – Chap. 11. – P. 183–206.
16. Leeuwen van W. MODIS vegetation index compositing approach: A prototype with AVHRR data / W. van Leeuwen, A. R. Huete, T. W. Laing // Remote Sens. of Environ. – 1999. – N 69. – P. 264–280.
17. Monitoring vegetation phenology using MODIS / X. Zhang [et al.] // Remote Sens. of Environ. – 2003. – N 84. – P. 471–475.
18. Tucker C. J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation / C. J. Tucker // Remote Sensing of Environment. – 1979. – Vol. 8. – P. 127–150.

The estimation of Selenge River catchment area condition with satellite data

E. N. Sutyryna

Abstract. The results of the study of the negative changes of land cover within in the bound of the Selenge River catchment area using AVHRR data are presented in this paper.

Key words: Selenge River, trans-boundary water body, catchment area, NDVI

*Сутырина Екатерина Николаевна
кандидат географических наук
старший преподаватель
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 52-10-72*