



УДК 528.854.4

Анализ зависимости качества вод по гидрохимическим показателям от освоенности водосборов

ИВИЧЕВА
Ксения Николаевна

ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства»,
xiu.ivicheva@yandex.ru

ФИЛОНЕНКО
Игорь Владимирович

ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства»,
igor_filonenko@mail.ru

Ключевые слова:

водосборный бассейн
геоинформационные системы
качество вод
гидрохимические индексы
предельно допустимые
концентрации

Аннотация:

Методами ГИС построены водосборные бассейны для ряда рек Вологодской области и проведена оценка их освоенности. Территория каждого водосборного бассейна делилась на 3 категории: малоосвоенные территории, территории, занятые сельхозугодьями, населенными пунктами. Выявлена зависимость качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям от величины антропогенного присутствия.

© 2013 Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Н. М. Калинкина

Получена: 16 апреля 2013 года

Опубликована: 22 января 2014 года

Введение

Реки Вологодской области находятся в неудовлетворительном состоянии. Практически все водотоки нашей области характеризуются как загрязненные, грязные, очень грязные (3 и 4 классы качества вод по данным Вологодского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды). Любая территория, на которой ведется хозяйственная деятельность находится в пределах какого-либо водосбора. Характер хозяйственной деятельности на водосборе, наряду с прямыми сбросами, влияет на качество вод в реках. В свою очередь, качество вод в водотоке является индикатором экологического состояния территории его водосбора. Водоток вместе с его водосборным бассейном составляет единую геоэкологическую систему. При оценке экологического состояния системы водосбор — река проводится количественный анализ различной хозяйственной деятельности на водосборе (Сидоренко, 2003; Иванов, Мазуркин, 2004; Ясинский, 2009). В том числе учитываются площади лесов, болот, сельхозугодий, населенных пунктов. Территории, занятые лесами, подвергаются наименьшему антропогенному воздействию, в силу чего они не оказывают негативного влияния на качество вод в водотоке. С сельхозугодий происходит смыв биогенов в водотоки. При оценке экологического состояния водосборов за основу берутся картографические материалы, данные статистики, натурные исследования. Разрабатываются методологические подходы к оценке влияния водосборов на качество вод в реках. Мы предложили метод оценки этих территорий на водосборе путем анализа космических снимков. Целью нашей работы явился анализ зависимости качества вод от степени освоенности водосборов рек Вологодской области.

Материалы

Территории, занятые населёнными пунктами, испытывают максимальное антропогенное воздействие. Для расчёта значений коэффициента корреляции Пирсона использован пакет анализа Microsoft Excel.

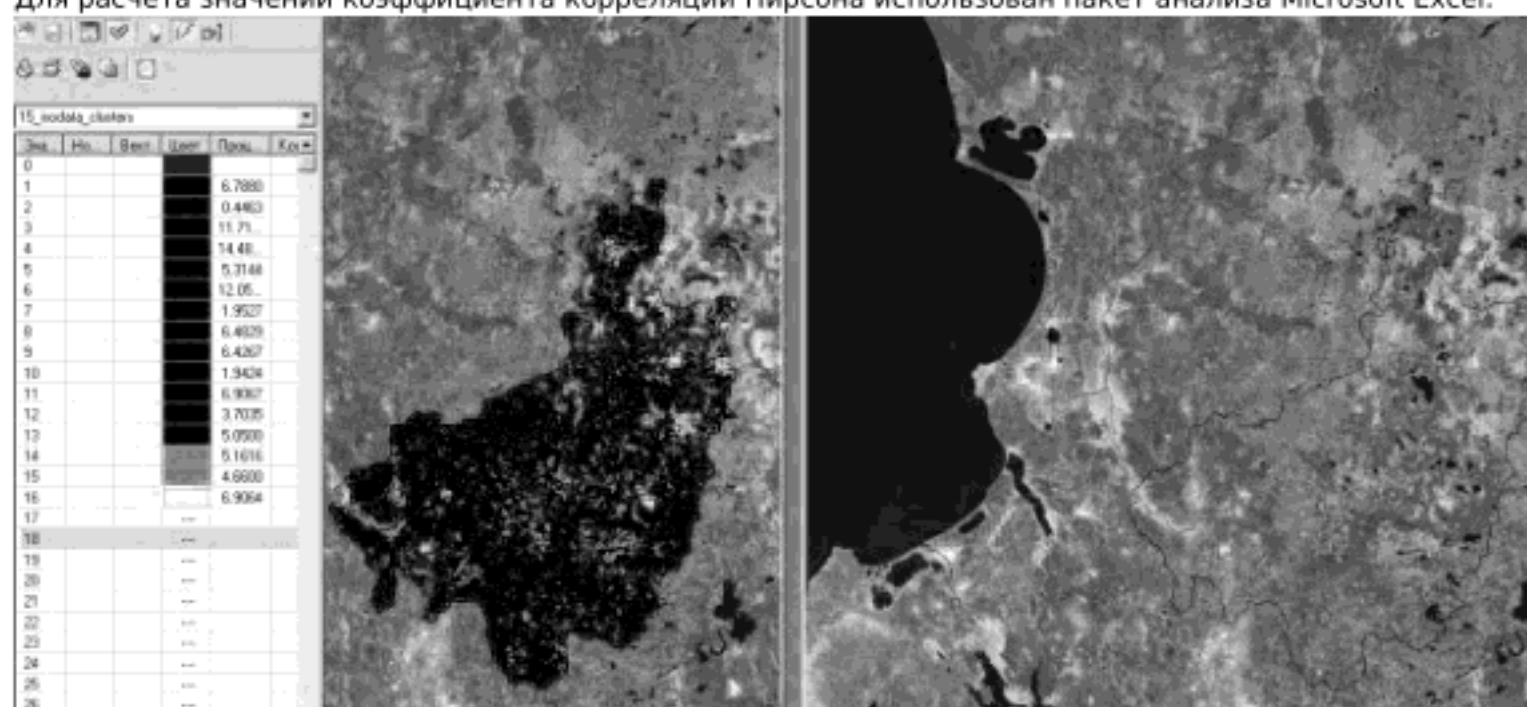


Рис. 2. Пример классификации участка водосбора р. Андомы в ScanEx Image Processor методом ISODATA

Fig. 2. Example of classification of the part of catchment of river Andoma in ScanEx Image Processor by the method ISODATA

Результаты

В результате проведенного анализа было рассчитано соотношение малоосвоенных территорий, сельхозугодий и населённых пунктов на участках водосборов рек (табл. 1). Доля малоосвоенных территорий составляет от 6.3 до 100 % и зависит от близости к крупным населённым пунктам. Для ряда рек характерна высокая доля болот. Населённые пункты на участках водосборов в целом не превышает 8 % от площади, за исключением рек небольшой протяжённости, протекающих на значительном своем протяжении по территории крупных городов (Содема, Кошта, Шограш). Доля сельхозугодий на участках водосборов существенно больше для водотоков, которые протекают в окрестностях или по территории крупных промышленных центров. Для большинства рек сельхозугодия составляют от 20 до 30 % от площади, для некоторых из них — более 40 %, а для двух — более 50 %. Таким образом, сравниваемые нами реки имеют большой диапазон освоённости участков водосборов, зависящий, в первую очередь, от приближенности к крупным промышленным центрам.

Таблица 1. Результат классификации участков водосборных площадей рек Вологодской области по снимкам земной поверхности ETM+ спутника Landsat7

Площадь участка водосбора, км ²	Доля на водосборе, %					сельхозугодий	населённых пунктов
	водоемов	болот	лесов	вырубок	малоосвоенных территорий		
Андога-д.Никольское	2251.5	4.2	56.7	39.1	100		
Андома-д.Рубцово	1238.6	6.8	9.9	76.4	6.9	100	
Вага-д.Глубокая	1327.5		10.2	74.5	7	91.7	8.3
Вологда-до города	1369	0.6		65.7		66.4	28.53
Вологда-после города	2720	0.35		61.2		61.5	31.24
Большая Ельма-д.Филиотино	337.6			73.5		73.5	26.5
Кошта-Череповец	131.8			20.7		20.7	60.3
							19

Леденьга-д. 445	1.3	86.1	3.4	90.8	7.1	2.1
Юрманьга						
Содема 38.6		6.3		6.3	42.2	51.5
Старая Тоть 1833.6	8.3	83.2		91.5	8.5	
ма-д.Демя новский погост						
Тошня-выше1091.2	0.3	61.7		62	35.8	2.2
города						
Тошня-водо 1200.1	0.4	58.7		59.1	38.7	2.2
забор						
Шограш 60.3		12.4		12.4	58.1	29.5
Юг-д.Перма 1454.6				97.5	2.5	
с						
Ягорба-д.Мо 354.3		58.5		58.5	41.5	
стовая						
Ягорба-Черё634.7	2.3	5.5	51.9	59.7	38.1	2.2
повец						

Значения индексов загрязнения воды Вологодского ЦГМС, рассчитанные на основе гидрохимических показателей приведены в таблицах (табл. 2, табл. 3). В целом значения индексов для каждой реки колеблются в пределах одного класса качества, переходя из разряда в разряд, либо между двумя классами. Тенденции ухудшения или улучшения качества вод в водотоках за рассматриваемый промежуток времени не наблюдается. Для некоторых водотоков отмечены сильные колебания значений индексов в разные годы, что, вероятно, было вызвано случаями экстремального превышения концентраций ряда загрязняющих веществ вследствие аварийных сбросов предприятий.

Таблица 2. Значения индексов ИЗВ за 2003—2010 гг. по данным Вологодского ЦГМС*

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Андога-д.	0.65	0.73	0.7	0.55	0.66	0.68	0.66	0.73
Андома-д. Рубцово	0.58	0.55	0.58	0.48	0.44	0.44	0.68	0.67
Вага-д. Глу борецкая	0.58	0.83	0.76	0.6	0.72	0.64	0.76	0.88
	1.14	0.7	1.18	2.07	1.07	0.94	1.23	1.19
	3.05	2.86	3.14	2.64	4.35	2.92	4.15	3.5
Большая Ельма-д. Филютино	0.83	0.59	0.63	0.73	0.58	0.7	0.64	0.76
	5.16	3.22	3.82	4.41	4.87	4.38	3.02	2.58
	1.11	1.01	1.52	1.68	0.99	0.81	0.99	1.49
Старая Тот	0.64	0.7	0.7	0.77	0.71	0.78	0.92	0.74
	1.16	1.13	1.35	1.02	0.82	0.82	-	-
	0.97	1.01	1.11	0.94	0.81	0.94	1.02	0.9

Юг-д. Пермас	0.39	0.37	0.55	0.45	0.47	0.45	0.55	0.39
Ягорба-д. Мостовая	1.55	1.47	1.37	1.55	1.43	1.27	1.65	2.13
	1.23	1.1	1.01	0.94	0.99	0.91	0.93	1.18

* (Государственный доклад..., 2004; Доклад о..., 2005—2011)

Таблица 3. Значения индексов УКИЗВ за 2006—2010 гг. по данным Вологодского ЦГМС *

	2006	2007	2008	2009	2010
Андога-д. Никольское	4.34	3.54	3.19	3.67	3.33
Андома-д. Рубцово	2.72	2.84	2.61	3.67	3.27
Вага-д. Глуборецкая	3.34	3.23	3.71	3.53	4.36
Вологда-до города	5.24	2.82	3.88	4.54	4.32
Вологда-после города	5.16	5.32	5.03	5.54	6.02
Большая Ельма-д. Филютино	3.44	2.71	3.23	2.72	3.6
Кошта-Череповец	6.55	6.92	6.45	6.29	6.11
Леденьга-д. Юрманьга	5.44	4.57	3.61	4.01	5.06
Содема	7.96	9.79	6.47	7.43	7.64
Старая Тотьма-д. Демьяновский погост	4.55	3.7	3.96	3.71	3.05
Тошня-выше города	2.49	4.24	3.36	3.36	-
Тошня-водозабор	3.21	3.49	4.63	4.39	4.48
Шограш	9.55	10.16	8.16	8.4	7.45
Юг-д. Пермас	2.75	1.93	2.77	3.03	1.98
Ягорба-д. Мостовая	5.03	4.73	3.55	4.93	5
Ягорба-Череповец	4.22	4.31	3.91	3.75	4.41

* (Государственный доклад..., 2004; Доклад о..., 2005—2011)

Корреляционная зависимость (между долей на водосборе малоосвоенных территорий, сельхозугодий населенных пунктов и гидрохимических индексов) представлена в таблицах 4, 5. Значения индексов ИЗВ и УКИЗВ прямо пропорциональны увеличению загрязнения — поэтому оба индекса показывают обратную корреляцию с долей на участке водосбора малоосвоенных территорий и прямую с долей территорий разной степени освоенности. Для ИЗВ колебания коэффициента корреляции составили от 0.58 до 0.95, для УКИЗВ — от 0.68 до 0.9. Для ИЗВ можно говорить о сильной статистической взаимосвязи с представленностью на водосборе территорий разной степени освоенности в период с 2003 по 2008 годы. В 2009 и 2010 годы наблюдается уже средняя статистическая зависимость. Для УКИЗВ во всех случаях (за исключением 2006 г.) можно говорить о достоверной корреляционной зависимости качества вод от доли на участке водосборов территорий разной степени освоенности. В целом значения коэффициентов корреляции для УКИЗВ выше, чем для ИЗВ. Как для ИЗВ, так и для УКИЗВ значения коэффициентов корреляции с долей на участке водосборов сельхозугодий несколько ниже, чем с долей малоосвоенных территорий и населенных пунктов. Помимо этого, ИЗВ проявляет большую зависимость от доли на участках водосборов населенных пунктов, чем малоосвоенных территорий.

Таблица 4. Значения коэффициентов корреляции ИЗВ и участков водосборного бассейна с разным покрытием

Значения ИЗВ	Доля на водосборе, %		
	малоосвоенных территорий	сельхозугодий	населенных пунктов
2003	-0.83	0.74	0.95
2004	-0.78	0.7	0.85
2005	-0.77	0.67	0.91

2006	-0.81	0.72	0.95
2007	-0.74	0.65	0.87
2008	-0.81	0.71	0.94
2009	-0.65	0.58	0.73
2010	-0.67	0.62	0.66

Таблица 5. Значения коэффициентов корреляции УКИЗВ и участков водосборного бассейна с разным покрытием

Значения УКИЗВ	Доля на водосборе, %		
	малоосвоенных территорий	сельхозугодий	населенных пунктов
2006	-0.82	0.68	0.82
2007	-0.88	0.7	0.9
2008	-0.9	0.8	0.82
2009	-0.89	0.75	0.86
2010	-0.88	0.77	0.82

Данные о кратности превышения ПДК по некоторым загрязняющим веществам представлены в таблице 6. Медь и железо являются одними из основных ингредиентов, влияющих на уровень загрязнения рек. Превышение в поверхностных водах концентрации этих веществ зачастую обусловлено генезисом и природными особенностями территории. Превышение содержания БПК₅ обусловлено антропогенным влиянием и прослеживается на реках, где наблюдается сброс бытовых вод.

Таблица 6. Данные о кратности превышения ПДК по меди и железу и биологическому потреблению кислорода в реках в 2009 и 2010 гг. по данным Вологодского ЦГМС*

	2009			2010		
	Fe	Cu	БПК ₅	Fe	Cu	БПК ₅
Андога-д.Никол 7 ьское		3.4	-	4.2	3.7	-
Андома-д.Рубцо 8.7 во		2.5	1.1	7.5	2.9	-
Вага-д.Глуборе 4.6 цкая		3.7	1	3.3	3.5	1.1
Вологда-до 2.2 города		5.1	1.6	1.9	8	1.4
Вологда-после 1.9 города		4.3	3.5	2.3	4.4	3.3
Большая Ельма-2.3 д.Филютино		4.8	-	1.4	5.1	1.5
Кошта-Черепов 1.9 ец		5.5	1.9	2	6.6	2
Леденьга-д.Юр 4.2 маньга		1.8	1.4	2.2	3.5	1.4
Содема -		-	2.3	-	-	2.8
Старая Тотьма- 2.8 д.Демьяновски й погост		3.5	1.2	1.5	2.1	1.2
Тошня-выше - города		-	1.6	-	-	-
Тошня-водозаб - ор		-	1.4	-	-	1.7
Шограш -		-	3.1	-	-	2.5
Юг-д.Пермас 4.4		2.1	-	3.6	2.9	-
Ягорба-д.Мосто 2.1 вая		2.3	2.2	1.1	2.3	2
Ягорба-Черепов 2.8 ец		4.2	1.1	2.2	3.6	1.4

*(Доклад о..., 2010—2011)

Корреляционные зависимости между кратностью превышения ПДК по меди, железу, БПК₅ представлены в таблице 7. Кратность превышения ПДК по железу имеет прямую зависимость с долей на участках водосборов малоосвоенных территорий и обратную зависимость с долей сельхозугодий и населенных пунктов. Содержание железа показывает сильную (более 0.7) статистическую зависимость с долей на водосборе малоосвоенных территорий и населенных пунктов в 2009 г. и среднюю — в 2010 г. С долей на участке водосбора населенных пунктов наблюдается низкая статистическая зависимость.

Можно говорить о незначительном влиянии наличия населенного пункта на содержание железа в поверхностных водах. Кратность превышения ПДК по меди имеет обратную зависимость с долей на участках водосборов малоосвоенных территорий и прямую зависимость с долей сельхозугодий и населенных пунктов. По значению коэффициентов корреляции как в 2009, так и в 2010 г. можно говорить о средней статистической зависимости содержания меди от представленности на участках водосборов территорий с разной степенью освоенности. Кратность превышения ПДК по БПК₅ также имеет обратную корреляционную зависимость от доли на участках водосборов малоосвоенных территорий и прямую зависимость от доли сельхозугодий и населённых пунктов. По значениям коэффициентов корреляции во всех случаях можно говорить о средней статистической зависимости.

Таблица 7. Значения коэффициентов корреляции кратности превышения ПДК по железу, меди, БПК₅ и участков водосборного бассейна с разным покрытием

		Доля на водосборе, %		
		малоосвоенных территорий	сельхозугодий	населенных пунктов
2009	Fe	0.71	-0.75	-0.43
	Cu	-0.65	0.62	0.62
	БПК ₅	-0.61	0.56	0.51
2010	Fe	0.53	-0.59	-0.23
	Cu	-0.56	0.5	0.64
	БПК ₅	-0.67	0.55	0.63

Обсуждение

Качество вод водотока зависит от способа хозяйственного использования его водосбора. Для тех рек, где хозяйственная деятельность человека минимальна или практически отсутствует, качество вод выше, чем для рек, водосборы которых освоены в значительной степени. О значительной роли степени освоенности водосбора в формировании качества вод в реках свидетельствуют высокие значения коэффициентов корреляции. Индекс ИЗВ рассчитывается без учета веществ, повышенное содержание которых обусловлено их фоновым содержанием для данной территории. Поэтому ИЗВ показывает зависимость преимущественно от доли населенных пунктов на участках водосборов. Индекс УКИЗВ в равной степени зависит от территорий разной освоенности. Эксплуатируемые сельхозугодия на исследуемой территории в меньшей степени влияют на качество вод, чем малоосвоенные территории и населённые пункты. Такая ситуация может быть вызвана объединением при классификации в сельхозугодия как пашен, оказывающих непосредственное влияние на качество вод в реке путем вымывания удобрений, так и выпасов, менее загрязняющих воды.

Аналогичная зависимость от долей на водосборе малоосвоенных территорий, сельхозугодий и населенных пунктов показана нами и для гидробиологических индексов на других водотоках (Ивичева, Филоненко, 2012). Поскольку для сравнения гидрохимических индексов выбраны реки из разных частей области, то полученные нами данные можно экстраполировать на водосборы других водотоков. Высокие коэффициенты корреляции позволяют говорить о возможности оценки качества вод в водотоках путем анализа освоенности их водосборов методами дистанционного зондирования земной поверхности.

Кратность превышения ПДК по железу зависит от доли на участках водосборов малоосвоенных территорий, что подтверждает природное происхождение данного загрязнения. Не прослеживается влияния населенных пунктов на данный вид загрязнения. Кратность превышения ПДК по меди, в свою очередь, показывает противоположную зависимость от степени освоенности территорий. Данный вид загрязнения показывает прямую корреляцию с долей на участках водосборов населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий, что противоречит факту природного происхождения этого загрязнения. Превышение концентрации по БПК₅ имеет обратную зависимость от доли на участках водосборов малоосвоенных территорий и прямую зависимость от доли сельхозугодий и населенных пунктов. Это свидетельствует об антропогенном происхождении загрязнения легко окисляемыми веществами по величине БПК₅.

Заключение

Результаты, полученные при анализе снимков земной поверхности, хорошо согласуются с данными исследований инструментальными методами оценки состояния поверхностных вод. Так качество поверхностных вод зависит от доли на водосборе малоосвоенных территорий, сельхозугодий населенных пунктов, классифицированных по снимкам Landsat. Оба индекса (ИЗВ и УКИЗВ) показали

прямую зависимость от доли на водосборе освоенных территорий и обратную от доли малоосвоенных, определённых таким же способом. Индекс УКИЗВ демонстрирует большую корреляцию, чем ИЗВ. Концентрация железа показывает прямую зависимость от доли малоосвоенных территорий, что вероятно обусловлено фоном содержанием этого вещества на данной территории. Загрязнение поверхностных вод легко окисляемыми веществами по величине БПК₅ прямо зависит от величины освоенности территории в связи с поступлением аллохтонного вещества антропогенного происхождения.

Библиография

Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Вологодской области в 2003 году» / Правительство Вологодской области, департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области, Главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Вологодской области. Вологда, 2004. 223 с.

Доклад о состоянии и охране окружающей среды Вологодской области в 2005 году / Правительство Вологодской области, департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Вологда, 2006. 199 с.

Доклад о состоянии и охране окружающей среды Вологодской области в 2006 году / Правительство Вологодской области, департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Вологда, 2007. 222 с.

Доклад о состоянии и охране окружающей среды Вологодской области в 2007 году / Правительство Вологодской области, департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Вологда, 2008. 234 с.

Доклад о состоянии и охране окружающей среды Вологодской области в 2008 году / Правительство Вологодской области, департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Вологда, 2009. 232 с.

Доклад о состоянии и охране окружающей среды Вологодской области в 2009 году / Правительство Вологодской области, департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Вологда, 2010. 236с.

Доклад о состоянии и охране окружающей среды Вологодской области в 2010 году / Правительство Вологодской области, департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Вологда, 2011. 236с.

Иванов А. А., Мазуркин П. М. Экологическая оценка водосборов малых рек (на примере Республики Марий Эл). Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. 108 с.

Ивичева К. Н., Филоненко И. В. Анализ влияния освоенности речных бассейнов на качество вод методами ГИС // Принципы экологии. 2012. № 2. С. 76—81. <http://ecopri.ru> (дата обращения 10.11.12)

Сидоренко А. В. Комплексная экодиагностика речного бассейна в целях организации устойчивого природопользования (на примере бассейна реки Раздольной): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Санкт-Петербург, 2003. 22 с.

Ясинский С. В. Формирование гидрологического режима водосборов малых равнинных рек: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Москва, 2009. 54 с.

Analysis of relation between water quality according to chemical indexes and water catchment area use

IVICHEVA
Ksenya

*State Research Institute of Lake and River Fisheries,
xiu.ivicheva@yandex.ru*

FILONENKO
Igor

*State Research Institute of Lake and River Fisheries,
igor_filonenko@mail.ru*

Keywords:

catch basin
geographic information systems
water quality
hydrochemical indexes
limit concentrations

Summary:

Catch basins for a number of the rivers of Vologda region were framed using ARCGIS 10, method Hydrobiology, and their usage was assessed. Parts of catchments for 11 small and medium rivers with different anthropogenic stress were analyzed. The area of each catch basin was divided into 3 categories: little-developed, agricultural and urban ones. For 3 city rivers 2 categories were analyzed. The data on catchment area use were recorded for all sites from satellite image with ScanEx Image Processor. Areas of 3 land-use types (forest, agriculture, and urbanized terrain) were calculated. Forest on the parts of catchments composed from 12 to 100%, urbanized terrain composing from 0 to 51,5 %. Areas of different categories were compared with hydrochemical indexes of water quality. Indexes of water quality showed strong positive correlation with the areas of urbanized terrains on the parts of catchments (0,81-0,95), but weak correlation with areas of agriculture (0,62-0,8). As for the forest areas, they showed strong negative correlation (-0,75...-0,9). Indexes of water quality were sensitive to negative anthropology influence.