

Олег Сергеевич СИЗОВ —
директор центра дистанционного
зондирования НИИ экологии и рационального
использования природных ресурсов
Тюменского государственного университета,
кандидат географических наук
ecoins72@mail.ru

Софья Григорьевна ПЛАТОНОВА —
ст. научный сотрудник лаборатории
регионального природопользования,
кандидат геолого-минералогических наук
platonova@iwep.asu.ru

Евгения Дмитриевна КОШЕЛЕВА —
научный сотрудник лаборатории
гидрологии и геоинформатики,
кандидат сельскохозяйственных наук
jten@yandex.ru

Анастасия Борисовна ГОЛУБЕВА —
аспирант лаборатории гидрологии и геоинформатики
Институт водных и экологических проблем СО РАН
golubevan@iwep.asu.ru

УДК 556.5

ОЦЕНКА РИСКОВ ВОДНОСТИ ТРАНСГРАНИЧНЫХ БАССЕЙНОВ С ПОМОЩЬЮ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ (НА ПРИМЕРЕ р. ИРТЫШ)*

RISK ASSESSMENT OF WATER CONTENT IN TRANSBOUNDARY BASINS WITH THE USE OF REMOTE METHODS (RIVER IRTYSH AS A CASE STUDY)

АННОТАЦИЯ. В статье приводятся результаты использования дистанционных материалов для оценки рисков водности трансграничных бассейнов на примере р. Иртыш. Отмечается хорошая корреляция дистанционных материалов с данными гидрологических наблюдений.

SUMMARY. The paper presents the outcomes of remote data application for risk assessment of water content in transboundary basins by the example of river Irtysh. Good correlation between remote and hydrological observation data does exist.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Трансграничный бассейн, риски водности, дистанционные методы, космические снимки, водохранилища.

KEY WORDS. Transboundary basin, risks of water content, remote methods, space images, water basins.

Изменение геополитической ситуации и принципов управления экономикой на территории бывшего СССР привели к существенным изменениям в структуре природопользования и эколого-географической ситуации на приграничных

* Работа выполнена в рамках интеграционного проекта СО РАН (№ 82).

территориях. Особенно ярко эти изменения проявились в пределах бассейнов крупных рек, таких, как Иртыш.

До 90-х гг. XX в. трансграничный характер бассейна Иртыша обуславливался наличием государственной границей СССР (Казахстан) — Китай, расположенный в его верхнем течении. Сегодня это крупная трансграничная геосистема на территории трех государств: России, Казахстана и Китая. Государства-соседи различаются по уровню экономического развития, приоритетным направлениям водопользования, отношению к экологическим проблемам и методам их решения. Несмотря на достигнутое Соглашение об основных принципах взаимодействия в области рационального использования и охраны трансграничных водных объектов государств — участников СНГ (1998) и другие международные мероприятия, регламентирующие взаимодействие приграничных территорий в рамках единого трансграничного бассейна, оценка экологических рисков трансграничных бассейнов остается на сегодняшний день нерешенной проблемой.

Дробление единой системы мониторинга создало сложности для оценки состояния и тенденций развития трансграничного бассейна и привело к поиску новых путей получения корректной информации. В этом отношении дистанционные материалы зачастую являются единственным источником сведений о той части водосбора, которая находится на территории соседнего государства. В настоящей работе представлен опыт оценки экологических рисков водности при помощи дистанционных материалов на примере трансграничного бассейна р. Иртыш.

Характеристика поверхностного водообмена и водохозяйственной обстановки в трансграничном бассейне Иртыша

Трансграничный бассейн р. Иртыш — самый крупный в азиатской части России — имеет площадь водосбора 1643 тыс. км². Сток Иртыша в верхней части формируется в горах Алтая на территории Казахстана и Китая, на границе которых (п. Буран) составляет 9,6 км³. На границу России из Казахстана поступает 27,9 км³ (с. Татарка, Омская область) или 31% стока р. Иртыш в устье [1]. Важной характеристикой трансграничного бассейна Иртыша является высокая природная изменчивость речного стока и уровня грунтовых вод на общем фоне современных процессов аридизации. Среднегодовое количество стока р. Иртыш за период 1923–2005 гг., с поправками, учитывающими регулирующее влияние Бухтарминского водохранилища, представлен в табл. 1.

Таблица 1

**Среднегодовое количество стока р. Иртыш
(по [1], [2])**

Пост	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений	Объем стока, км ³	
				1980 г.	2005 г.
Буран	3688	55900	1938-1980	4,01	нет данных
ГЭС Усть-Каменогорская	3089	146000	1952-1980	17,80	нет данных
Павлодар	2390	240000	1978-2005	26,80	27,9
Омск, выше впадения р. Оми	1816	268600	1960-2005	25,40	25,1

В современное время бассейн р. Иртыша характеризуется сложной водохозяйственной обстановкой. Для регулирования и управления водными ресурсами бассейна в верхнем течении Иртыша (Иртыш выше оз. Зайсан называют Черным Иртышом) в Китае и Казахстане были сооружены каскады водохранилищ. На территории Китая водохранилище имеет забор воды $68 \text{ м}^3/\text{с}$, что составляет почти треть расхода Черного Иртыша. Кроме него в Китае строится ирригационный канал Черный Иртыш – Карамай длиной более 300 км, который только на первом этапе отберет около 20% годового стока Черного Иртыша, в перспективе и до 40% [3].

В Казахстане функционирует Иртышский каскад из трех крупных водохранилищ, основные показатели которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные показатели крупных водохранилищ Иртыша в Казахстане [4]

Основные параметры водохранилищ	Ед. изм.	Водохранилище		
		Бухтарминское	Усть-Каменогорское	Шульбинское (1-я очередь)
Год создания	год	1960	1957	1996
Среднегодовой расход в створе	$\text{м}^3/\text{с}$	570	585	920
Созданный подпор	м	67	42	29
Площадь затопления	км	3328,0	19,1	480,0
Полный объем,	км^3	49,70	0,65	2,40
Полезный объем	км^3	30,60	0,17	1,50
Площадь водного зеркала	км^2	5490	87	507
Протяженность	км	350	85	100
Амплитуда колебания уровня	м	7,0	5,0	5,0
Среднемноголетний коэффициент		0,35	20,00	12,40
Сложившийся водохозяйственный комплекс		Э, Т, И, Р, О	Э, Т, П	Э, И, Т
Примечание – принятая аббревиатура: Э – энергетика, Т – водный транспорт, И – ирригация, Р – рыбное хозяйство, П – перераспределение стока, О – рекреация				

На правых притоках Иртыша расположен также Лениногорский каскад малых ГЭС деривационного типа совокупной мощностью, по разным источникам, 12-14 МВт, который был создан в 20-40-е гг. XX века для энергоснабжения промышленных и горнодобывающих предприятий г. Риддер. В настоящее время в бассейне р. Иртыша в Казахстане насчитывается 75 водохранилищ и прудов суммарной проектной мощностью 53 км^3 [5]. В Павлодарской области севернее каскада водохранилищ забор воды из Иртыша, обеспечивающий водой жителей Центрального Казахстана, включая г. Астану, производится по каналу им. К. Сатпаева.

В России на бассейн р. Иртыша приходится наибольший объем потребления воды Западной Сибири. При этом если в целом в Западной Сибири коэффициент использования ресурсов речного стока составляет от 1,3 до 2,1%, то в бассейне р. Иртыша он достигает почти 3% [1].

Влияние на гидрологические и экологические характеристики реки в результате водозаборов трех государств особенно остро проявляются в пределах российской части — на территории Омской области. Уменьшение стока за пе-

риод 1975-2005 гг., составившее для створа г. Омск 15%, сопровождается нарушением экобаланса бассейна, активизацией глубинной эрозии, обмелением, засолением прибрежных земель, сокращением биологического разнообразия, проблемами водоснабжения населенных пунктов. Экологическое состояние в пределах трансграничного бассейна усугубляется тем, что все названные объекты находятся в управлении разных собственников. Иртышский каскад водохранилищ, например, передан в аренду американским компаниям, которые не заботятся о сохранении реки.

Методология использования дистанционных методов. Возможности применения дистанционных методов наблюдений, основывающихся на анализе аэрокосмических снимков территорий, значительно расширились в связи с бурным развитием информационных технологий. Аэрокосмический мониторинг состояния природных гео- и экосистем в последнее время широко используется для изучения экологических проблем системы «водосбор — водоток — водоем» трансграничных бассейнов на Дальнем Востоке [6]. Метод дистанционного зондирования рекомендован в качестве основного для мониторинга затопляемых и подтапливаемых территорий трансграничных бассейнов европейской части России [7].

Для характеристики рисков водности Иртыша дистанционными методами, учитывая высокую степень его зарегулированности, нами оценивалась динамика уреза воды крупных водохранилищ Казахстана (Усть-Каменогорского, Бухтарминского, Шульбинского) за многолетний (1973-2009 гг.) и сезонный (май — сентябрь 2009 г.) периоды. В качестве индикатора проходящих процессов рассматривались местоположение уреза воды водохранилищ и площади их зеркал.

Космические снимки совместно с другими геопространственными данными рассматривались в единой геоинформационной среде (ГИС) ArcGIS — ArcView (ESRI). Алгоритм формирования единого ГИС-проекта в соответствии с [9] включал:

- 1) получение данных дистанционного зондирования со спутников Landsat-1-7; SPOT-4; ASTER;
- 2) коррекцию данных: геометрическую, радиометрическую, улучшение пространственного разрешения с использованием панхроматического канала, дополнительную геопривязку с использованием точек наземного контроля;
- 3) объектно-ориентированное дешифрирование, анализирующее дополнительные признаки объектов: текстуру, геометрический рисунок, сочетание спектральных характеристик;
- 4) совмещение материалов дешифрирования с топографическими картами и ЦМР.

Объем исходных данных составил 23 планшета топокарт масштаба 1:100 000, 67 сцен разновременных космических снимков (спутники Landsat, Тегга и SPOT-4) и 6 тайлов ЦМР AsterDEM, размером 1°×1°. Отдельные тайлы сшивались в единое покрытие с исключением ошибочных данных. Далее вырезался буфер 10 км вокруг водохранилищ, который и использовался для вычисления отметок урезов воды (рис. 1). Верификация результатов автоматизированного дешифрирования выполнялась с помощью визуального контроля на отдельных участках.

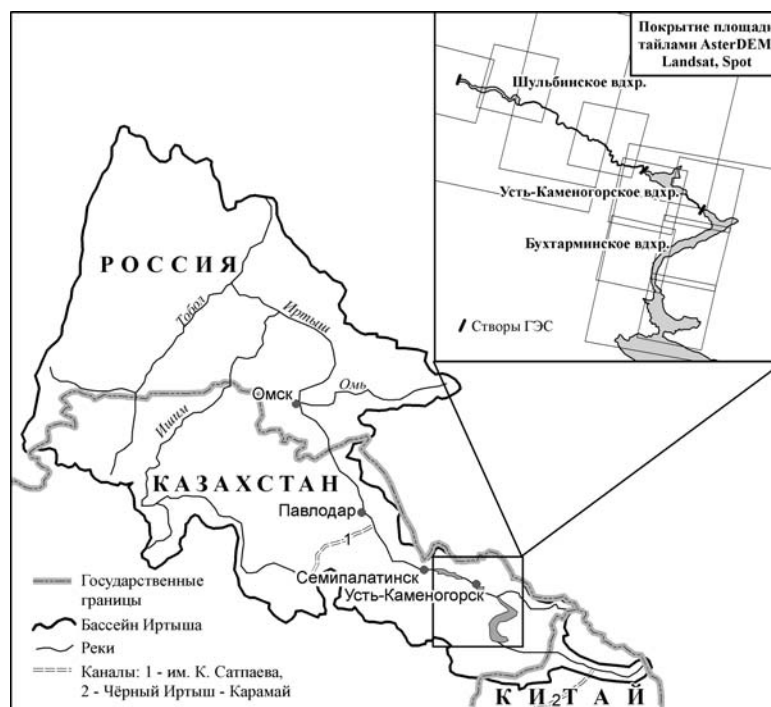


Рис. 1. Трансграничный бассейн р. Иртыш

Результаты и их обсуждение. В ходе обработки дистанционных материалов было установлено, что на сток бассейна Иртыша в последние годы, наряду с увеличением объемов водопотребления, сильно влияет естественная изменчивость природных факторов. Для всех водохранилищ не отмечено превышений нормального подпорного уровня (НПУ), но выявлена значительная динамика колебаний уровней водохранилищ. В то же время только для Бухтарминского водохранилища отмечается негативная тенденция существенного снижения уровня воды за последний год.

Отмечено увеличение объема водохранилищ и площадей водного зеркала при уменьшении отбора воды на хозяйственные нужды. Например, в период с 1989 по 1994 гг. при общем водозаборе порядка 5 км^3 годовой сток в створе Шульбинской ГЭС в среднем составил 27 км^3 . В период минимального водопотребления с 2000 по 2002 гг. ($2,9 \text{ км}^3$) объем годового стока вырос в среднем до $29,8 \text{ км}^3$. Относительно невысокие значения годового стока в период с 1996 по 1999 гг. определены естественными изменениями водного баланса — увеличением испарения до $7,6 \text{ км}^3$ (что составляет более $\frac{1}{4}$ годового стока в створе Шульбинской ГЭС) и уменьшением поверхностного и подземного стока [5]. Существенные изменения объема стока, отмеченные в периоды 1992-1994, 1995-1997, 1999-2000 гг., также связаны с природными причинами.

Для Бухтарминского водохранилища были выявлены значительные колебания уровня. Минимальные значения отмечались в 1977-1979 гг., максимальные — в 2003-2007 гг. Современный уровень (2009 г.) сопоставим с минимальными значениями всего периода наблюдений и значительно отличается от уровня 2007 г. в сторону уменьшения, что согласуется с данными Иртышского БВУ [5]. Результаты по Бухтарминскому водохранилищу с 1974 по 2009 гг. приведены в табл. 3, за 2009 г. — на рис. 2.

Таблица 3

Результаты мониторинга Бухтарминского водохранилища (фрагмент)

	Показатели	Месяцы (в скобках указана дата)					
		Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1974	S	1311,6(21)	1313,6(09)				
	УВ	386,5(21)	386,5 (09)				
1977	S		1237,1(20)	1252,0 (07)			1235,3(04)
	УВ		384,0 (20)	384,0 (07)			384,0 (04)
1990	S		1431,4(29)				
	УВ		389,0 (29)				
2000	S				1384,4(27)		1384,4(13)
	УВ				388,0 (27)		388,0 (13)
2001	S		1364,4(27)		1392,5(30)		
	УВ		387,0 (27)		388,0 (30)		
2009	S		1295,5(01)	1314,5 (05)	1302,34(01)	1317,42(06)	1283,17(12)
			1295,5(10)				
			1295,5(27)				
	УВ		385,0 (01) 385,0 (10) 385,0 (27)	386,5 (05) 386,5 (10)	386,0 (01) 386,0 (27)	386,5 (06) 386,5 (17)	1283,17(12)
Примечание – используемые показатели: S – площади (км ²); и УВ – отметка уреза воды (м)							

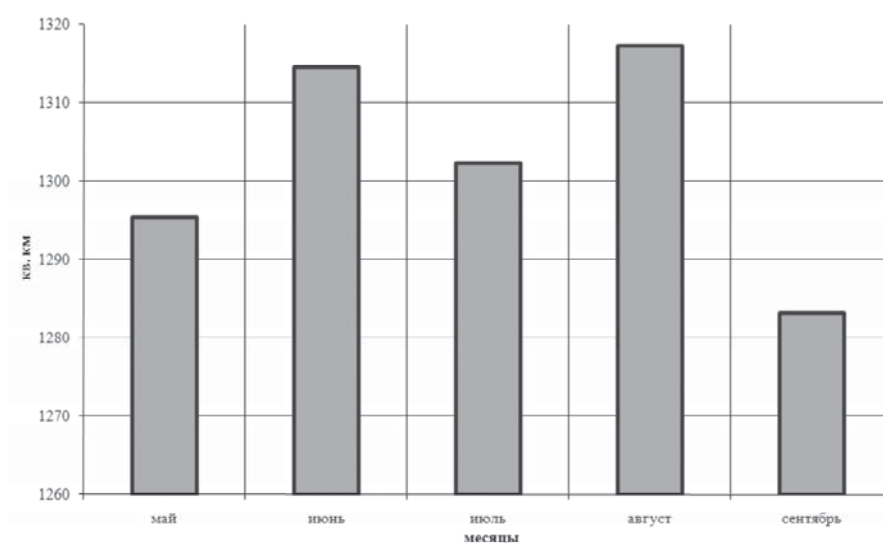


Рис. 2. Сезонная динамика изменения площади Бухтарминского водохранилища (SPOT 4, 2009 г.)

Для Усть-Каменогорского водохранилища установлено стабильное состояние без существенных колебаний уровня воды. Изменения отметок урезов не превышают 1–1,5 м. Значительную роль при этом играет небольшая площадь и контррегулирующая функция по отношению к Бухтарминскому водохранилищу. Для Шульбинского водохранилища характерны особенности сезонной динами-

ки с существенным снижением УВ в мае и восстановлением площади зеркала уже в июне. В ряду многолетних наблюдений минимальные значения отмечены в 2003 г., максимальные — в 2007 г. Современное состояние соответствует средним многолетним значениям.

Данные, полученные с помощью дистанционных методов, достаточно хорошо коррелируются с материалами Е.В. Куликова [10], изучающего пути оптимизации использования рыбных ресурсов Бухтарминского водохранилища (рис. 3). Разница абсолютных высот (около 12 м) в данном случае связана с использованием различных исходных данных. В целом тенденция многолетних изменений уровня водохранилища, фиксируемая измерениями на 6 водомерных постах, полностью совпадает с результатами дешифрирования разновременных космических снимков. Это подтверждает достоверность полученных данных.

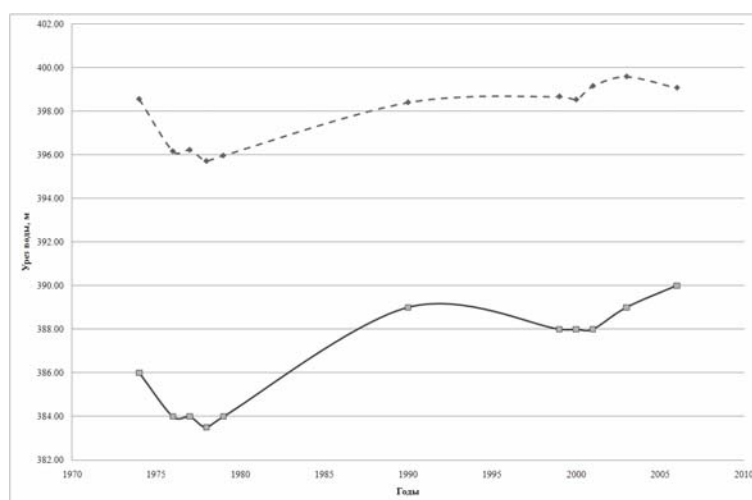


Рис. 3. Урезы воды Бухтарминского водохранилища по результатам исследования (внизу) и по данным Е.В. Куликова [10] (вверху)

Заключение

Предложенная методика дистанционного исследования состояния водохранилищ и определения площади водной поверхности, вполне эффективна для получения объективных данных по мониторингу трансграничных бассейнов и выявлению факторов риска водности. Дистанционные методы позволяют достаточно быстро провести обработку больших объемов информации и на основе ГИС получить итоговые статистические данные. Задача получения космической съемки успешно решается с использованием архивов геологической службы USGS и НИИ экологии и рационального использования природных ресурсов ТюмГУ.

Подтверждением полученных результатов и выявлением дополнительных закономерностей может стать сопоставление итоговых значений с многолетними климатическими и гидрологическими данными района исследований.

Данные, полученные с помощью дистанционных методов, достаточно хорошо коррелируются с материалами Иртышского бассейнового водного управления и данными других исследователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование современного состояния и научное обоснование методов и средств обеспечения устойчивого развития функционирования водохозяйственного комплекса в

бассейнах рек Оби и Иртыша: научно-технический отчет. Фондовые материалы ИВЭП СО РАН. Барнаул, М., 2008. 1091 с.

2. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 6. Вып. 4-6, 8, 9. Бассейн Карского моря (западная часть). Л.: Гидрометеиздат, 1984.

3. Ашимбаева А. Т. Достижения и проблемы казахстанско-китайских экономических отношений. http://www.ia-entr.ru/archive/public_details56c8.html?id=376. (от 16.03.2007).

4. Савкин В. М. Водохранилища Сибири, водно-экологические и водно-хозяйственные последствия их создания // Сибирский экологический журнал. 2000. № 2. С 109-121.

5. Региональный информационный центр экологического мониторинга <http://prirodavko.ukg.kz/>.

6. Курбатова И. Е., Крылова Н. Ю. Использование космической информации при изучении и картографировании трансграничных водосборов (на примере озера Ханка) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 2. С. 529-537.

7. Состояние окружающей среды в бассейне Днепра: отчет о НИС 2003 г. // Трансграничный диагностический анализ. http://www.dnipro-gef.net/first_stage-ru/otchety-pro-ektam.

8. Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. В. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Академия, 2004. 336 с.

9. Основы геоинформатики / Под ред. В. С. Тикунова. М.: Академия, 2004. 352 с.

10. Куликов Е. В. Закономерности формирования ихтиофауны Бухтарминского водохранилища и пути оптимизации использования рыбных ресурсов: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2007. 24 с.

*Андрей Викторович ОСИПОВ —
аспирант кафедры социально-экономической
географии и природопользования
Тюменского государственного университета
osipov@sngp.ru*

УДК 91:504 (470+571)

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ
АГРАРНО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РЕГИОНА
(на примере юго-запада Тюменской области)***

**FUNDAMENTAL PRINCIPLES OF CREATING A GEOGRAPHIC
INFORMATION SYSTEM OF SPACE OPTIMIZATION MODEL
OF AN AGRARIAN-INDUSTRIAL COMPLEX
(on the basis of south-western part of the Tyumen region)**

АННОТАЦИЯ. В статье рассматриваются теоретические вопросы и последовательность операций процесса создания геоинформационной системы для модели пространственной оптимизации аграрно-промышленного комплекса юго-западной части Тюменской области.

* Работа выполнена в рамках государственного контракта НК-34 П (2) по проекту «Разработка модели пространственной оптимизации аграрно-промышленного комплекса региона (на примере юго-запада Тюменской области)».