

УДК 504.064.37; 556.16

Канд. техн. наук А.Г. Терехов<sup>1</sup>**МОНИТОРИНГ ОЗЕРА МАНАС (КНР) В ПЕРИОД  
1989...2017 ГОДОВ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ LANDSAT**

**Ключевые слова:** спутниковые снимки, площадь водного зеркала, динамика размера озера, водообеспеченность бассейна озера, водные каналы

*На основе 154 снимков LANDSAT-5, 7, 8 периода 1989...2017 годов проведен мониторинг размеров оз. Манас, расположенного в западной части Джунгарской равнины (КНР). Озеро является конечным, бессточным водным объектом для рек Манас и Кубук, а также для водных каналов р. Кара-Ертис – г. Карамай и р. Кара-Ертис – г. Урумчи. В бассейне озера расположено несколько городов (г. Шихэцзи, г. Манас, г. Хутуби, г. Чанцзи) и возделывается около 600 тысяч гектаров поливной пашни. Динамика обеспеченности водой сельскохозяйственных земель может диагностироваться по текущей площади зеркала озера Манас. Мониторинг площади озера показал, что первоначально, полностью высохшее озеро, в последние 20 лет испытало четыре периода резкого наполнения, в 1999, 2002, 2010 и 2016 гг. Площадь зеркала периодически увеличивалась до 300 км<sup>2</sup>. По всей видимости, восстановление водного зеркала связано с работой ирригационной системы р. Кара-Ертис – Джунгарская равнина. Антропогенный характер питания озера, также подтверждается отсутствием естественной, сезонной динамики запасов воды, включающей весенний максимум и летний минимум. В фазе наполнения оз. Манас сезонные потери воды на испарение могут достигать 0,2...0,3 км<sup>3</sup>, что составляет 20...30 % от среднегодового стока доминирующей реки бассейна (р. Манас).*

**Введение.** Бурное экономическое развитие Синьцзян-Уйгурского автономного района (СУАР) [3], включает расширение площади поливной пашни [7]. Значительная часть вновь освоенных земель приходится на внутренние, засушливые районы Джунгарской равнины, со среднегодовым количеством осадков около 150 мм [8]. Недостаток собственных вод-

<sup>1</sup> Казгидромет, г. Алматы, Казахстан

ных ресурсов на этой территории в настоящее время решается за счет водных каналов из крупной, трансграничной реки Кара-Ертис (Черный Иртыш), огибающей Джунгарскую равнину с севера (каналы: р. Кара-Ертис – г. Карамай и р. Кара-Ертис – г. Урумчи) [4].

Оба канала безвозвратно забирают воду из стока трансграничной реки и используют её для обводнения внутренних территорий засушливой Джунгарской равнины (СУАР, КНР). Информация о работе ирригационной системы р. Кара-Ертис – Джунгарская равнина представляет значительный интерес для долгосрочного планирования водоснабжения на территории Казахстана и формирования позиции Казахстана в соглашении с КНР по вододелению трансграничного стока.

Водообеспеченность засушливых территорий в аридном климате может диагностироваться по спутниковым данным на основе мониторинга наполненности бессточных, внутренних водоёмов [6]. Недостаток водных ресурсов приводит к уменьшению размеров таких водных объектов, вплоть до их полного пересыхания. Улучшение ситуации с обеспеченностью водой сопровождается ростом запаса воды в конечных водоёмах. Наиболее простым параметром, характеризующим наполненность водоёма, является площадь его зеркала. Без батиметрической информации невозможно оценить объём запаса воды, но площадь водного зеркала и её изменения могут качественно характеризовать многолетнюю динамику объекта, а также объём потерь воды с испарением [5].

Озеро Манас расположено в западной части Джунгарской равнины (СУАР). Оно имеет вытянутую форму, в направлении, примерно, с северо-востока на юго-запад, по длинной оси, до 50 км (рис. 1). Озеро является конечным, бессточным водным объектом для р. Манас (объём годового стока около  $1 \text{ км}^3$  [2]) и небольшой реки Кубук. Река Манас питается за счёт таяния ледников горного массива Ирен-Хабырга (высшая точка 5248 м). Река Кубук берёт своё начало с хребта Тарбагатай (3816 м) и практически полностью разбирается на полив сельскохозяйственных угодий, не достигая озера. До 1999 г. развитое орошаемое земледелие северных предгорий массива Ирен-Хабырга, а также обеспечение водой крупных населенных пунктов (г. Шихэцзи, г. Манас, г. Хутуби, г. Чанцзи и др.), полностью разбирали сток р. Манас, что приводило к высыханию озера Манас и превращению его в сухой солончак. Дешифрируемая по спутниковым снимкам площадь озёрной котловины составляет около  $700 \text{ км}^2$ . Очевидно, примерно 100...150 лет назад, после окончания малого ледникового периода (1400...1850 гг.) [1] и рез-

кого потепления, происходило интенсивное таяние горных ледников, что наполняло озеро Манас в этих пределах.

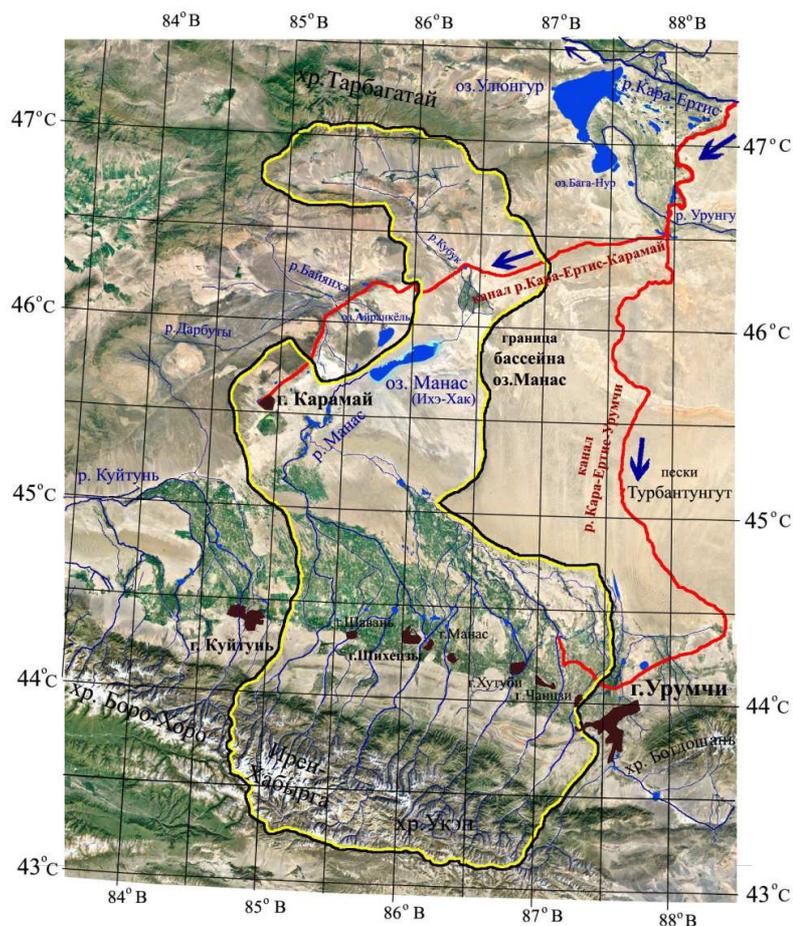


Рис. 1. Спутниковая карто-схема бассейна оз. Манас.

Появление дополнительных водных источников в бассейне оз. Манас, которыми стали водные каналы р. Кара-Ертис – г. Карамай [4] и р. Кара-Ертис – г. Урумчи, призвано улучшать территориальную обеспеченность водой, что также может сказываться на состоянии конечного водного объекта этой территории – оз. Манас. Возможность администрирования объемами воды, перебрасываемыми с помощью водных каналов из реки Кара-Ертис в Джунгарскую равнину, может приводить к формированию антропогенной динамики сезонных и многолетних вариаций площади водного зеркала оз. Манас.

По спутниковым данным, в каналах оптического диапазона, водные зеркала распознаются достаточно легко [5]. Спутниковая система

LANDSAT с пространственным разрешением 30 м имеет наиболее глубокий архив (с 1983 г.) [9], что позволяет максимально детально восстанавливать многолетнюю динамику размеров оз. Манас.

**Территория мониторинга.** Оз. Манас (Ихэ-Хак) расположено в западной части Джунгарской равнины. Его естественный бассейн, с площадью около 57 тыс. км<sup>2</sup>, примыкает с востока к г. Урумчи, с запада он граничит с бассейном оз. Эби-Нур. В него входят: часть Джунгарской равнины, северные склоны горного массива Ирен-Хабырга и хребта Укэн, а также южные склоны Тагбагатая (рис. 1). Доминирующей рекой бассейна является р. Манас, средний расход воды 34 м<sup>3</sup>/с [2]. Остальные водные источники (сток р. Кубук и весенние талые воды) имеют значительно меньшие параметры. Приход в бассейн оз. Манас двух самотёчных водных каналов из реки Кара-Ертис, значительно расширил фактический размер бассейна и соответственно, потенциальный объём стока воды, попадающий в озеро.

Спутниковый мониторинг размеров водного зеркала проводился в пределах существующей котловины оз. Манас, которая по большей части времени представляла собой солончак, с площадью около 700 км<sup>2</sup>.

**Спутниковые данные.** Мониторинг состояния котловины озера основывался на спутниковых снимках LANDSAT-5, 7, 8 [9]; сеновая позиция WRS2: 144×28; периода 1989...2017 гг., доступных на Интернет ресурсе агентства геологии США [<https://glovis.usgs.gov>]. Из архива данных LANDSAT-5, 7, 8 было отобрано и обработано 154 снимка.

**Методика обработки данных.** Оценка площади водного зеркала по многозональным спутниковым данным в оптическом диапазоне имеет стандартные решения, обеспечивающие приемлемую точность для решения задачи мониторинга достаточно крупных водных зеркал [5]. Водное зеркало, отображающееся на спутниковом снимке зоной более 1000 пикселей, может считаться достаточно крупным, что бы его площадные характеристики могли быть определены с ошибкой менее 5 %. Для спутниковых снимков LANDSAT, с пространственным разрешением 30 м, размер зеркала, примерно, в 0,9 км<sup>2</sup>, является таким порогом.

В случае оз. Манас, кроме обычных затруднений, связанных со снежно-ледовым покровом в холодное время года и помехами от облачного покрова, возникают неопределенности распознавания небольшого слоя воды над поверхностью солончака. Спектральные различия между пропитанной водой поверхностью соли и поверхностью соли, покрытой небольшим слоем воды, по спутниковым данным достаточно условны. Экс-

пертное дешифрирование позволяет субъективно решать эту задачу. Ошибки, возникающие в этом случае, не слишком искажают конечный результат. Во-первых, эта ситуация встречается не так часто. Во-вторых, основная задача работы, это оценка многолетней динамики размера озера, а не высокоточное определение площади водного зеркала в каждый отдельный момент времени.

Сравнение динамики размера оз. Манас с динамикой крупного соседнего оз. Эби-Нур (площадь зеркала до 1100 км<sup>2</sup>) [5], более тесно связанного с водностью года, позволяет вычленить значимые временные интервалы, когда водообеспеченность территории претерпевает существенные, вероятно, антропогенные изменения.

**Полученные результаты.** Анализ 154 спутниковых изображений позволил восстановить динамику размера водного зеркала оз. Манас (рис. 2). Площадь водного зеркала в течение этого времени варьировала от нуля (состояние полностью высохшего озера), до 310 км<sup>2</sup>, в период избыточного увлажнения территории.

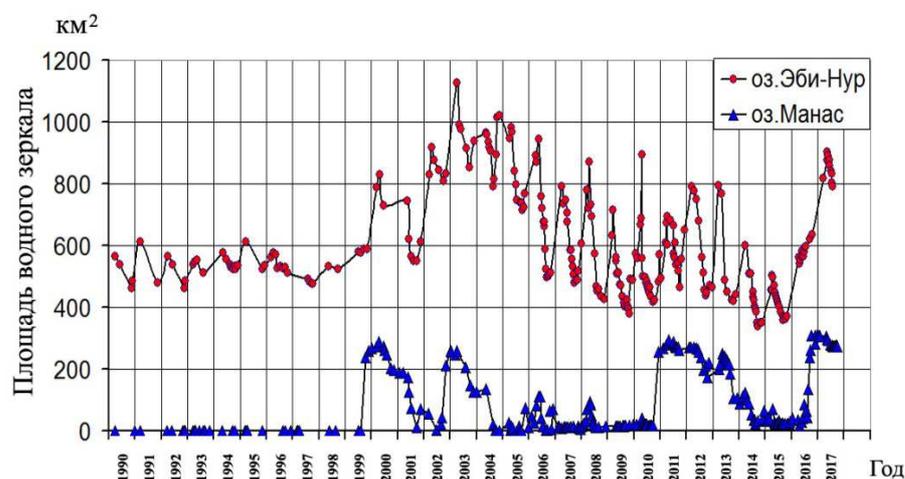


Рис. 2. Спутниковые оценки площади водных зеркал озёр Манас и Эби-Нур (СУАР, КНР) в период с 1990 года. Построено по данным LANDSAT-5, 7, 8.

**Обсуждение.** Оз. Манас до 1999 г. представляло собой сухой солончак. Естественные вариации водности года были недостаточны для, хотя бы, периодического формирования водного зеркала. Ситуация изменилась в 1999 г. С этого года озеро испытало четыре периода резкого увеличения площади водного зеркала, примерно до 300 км<sup>2</sup>, в сезонах 1999, 2002, 2010 и 2016 гг. Рост размера озера в конце 1999 г. по времени хорошо синхронизирован с началом работы водного канала р. Кара-Ертис –

г. Карамай (сентябрь 1999 г. приход воды в г. Карамай) [4]. Многоводье 2010 г., возможно, было связано с ростом объёмов перекачки воды через канал р. Кара-Ертис – г. Урумчи. Транзитная часть этого 622-километрового водного канала, формально, была закончена в 2007 г., но организация ирригационного водопользования, вероятно, потребовало дополнительного времени. Соседний, к бассейну оз. Манас, бассейн оз. Эби-Нур, характеризовался исключительной многоводностью в сезонах 2002 и 2016 гг. (рис. 2) [5]. Вполне вероятно, что бассейн оз. Манас, имеющий схожую систему водообеспеченности территории, в этих сезонах, также имел высокую водность, что наряду со стоком воды р. Кара-Ертис, способствовало формированию значительного водного зеркала.

Рассматривая сезонную динамику площади водного зеркала оз. Манас отметим практически полное отсутствие естественного режима, включающего формирование весеннего максимума (аккумуляция воды после весеннего снеготаяния) и летнего минимума (потери воды связанные с сезонным максимумом испарения с зеркала), т.е. режима, характерного для всех региональных озёр с естественным питанием, независимо от их размера [6]. Отсутствие естественной, сезонной вариативности в размере озера, указывает на антропогенный характер источников, составляющих основу питания оз. Манас. Гидрографы водных каналов ирригационной системы «р. Кара-Ертис – Джунгарская равнина» существенно отличаются от естественных рек [4]. Отсутствует весеннее половодье, максимальный расход воды приходится на конец мая – первую половину июня, т.е. период максимума потребления воды в сельскохозяйственном растениеводстве. В конце вегетационного сезона русла каналов освобождаются от воды (подготовка к холодному периоду), что создаёт в августе-сентябре избыток воды в локальных ирригационных сетях и формирует повышенный сток в оз. Манас.

Сток трансграничной реки Кара-Ертис, с 1999 г. достигающий бассейна оз. Манас, изменил ситуацию с обеспеченностью водой этих территорий. Улучшение ситуации приводит к периодическому формированию водного зеркала в котловине оз. Манас (в последние годы почти постоянному её присутствию). При этом объём воды теряющейся с испарением с водного зеркала озера в период многоводья может составлять до  $0,2...0,3 \text{ км}^3$ , что соответствует 20...30 % от среднегодового стока доминирующей реки бассейна. Такой объём воды терялся в сезонах 2000, 2003, 2011, 2012, 2013 и 2017 года.

**Выводы:** Территория бассейна оз. Манас является значимой частью экономически быстро развивающейся зоны СУАР, примыкающей с востока к г. Урумчи. Развитие сельскохозяйственного растениеводства (поливная пашня [хлопок, яровая пшеница]) и прогрессирующая урбанизация территории (г. Шихэцзы (второй по величине город СУАР), г. Манас, г. Хутуби, г. Чанцзи) требуют всё возрастающих объёмов воды. Методы решения этой проблемы правительством КНР основаны на дополнительной ирригации бассейна оз. Манас за счёт стока трансграничной р. Кара-Ертис. В настоящий момент эта ирригационная система состоит из двух самотёчных каналов: р. Кара-Ертис – г. Карамай [4] и р. Кара-Ертис – г. Урумчи.

Спутниковая диагностика размера конечного, бессточного водного объекта – оз. Манас, в период с 1989 г. до настоящего времени, даёт сравнительную, комплексную оценку состояния по обеспеченности водой территории бассейна озера. После многолетнего отсутствия воды в чаше озера, её появление после 1999 г. говорит о значительном улучшении общей ситуации. После 2010 г. водная поверхность в котловине озера существует, практически постоянно. Площадь водного зеркала зависит от водности года. После многоводных сезонов она растёт, примерно до 310 км<sup>2</sup>. После исключительно маловодного сезона 2014 г. озеро уменьшилось, почти до 20 км<sup>2</sup>. В многоводные годы потери воды с испарением оцениваются в 0,2...0,3 км<sup>3</sup>, что составляет до 30 % от среднего многолетнего объёма стока р. Манас.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Имбри Д., Имбри К. Тайны ледниковых эпох / Под. ред. Г.А. Авсюка. – М.: Прогресс, 1998. – 262 с.
2. Манас (река в Китае) [Электрон. ресурс]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/106329/%D0%9C%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D1%81> (дата обращения: 11.12. 2017).
3. Развитие Синьцзян-уйгурского автономного района КНР и его социально-экономические последствия для Казахстана. Агентство по исследованию рентабельности инвестиций. [Электрон. ресурс]. – 2013 – URL: [http://cred.kz/Pdf\\_analysys/2020.pdf](http://cred.kz/Pdf_analysys/2020.pdf) (дата обращения: 11.12. 2017).
4. Терехов А.Г. Технические характеристики водного канала Кара-Ертис – Карамай: спутниковые оценки // Гидрометеорология и экология. – 2017. – №4 (87). – С. 54-62.
5. Терехов А.Г., Долгих С.А. Спутниковый мониторинг водного зеркала оз. Эби-Нур (КНР) в период 1990...2017 годы // Гидрометеорология и экология. – 2017. – №3(86). – С. 72-79.

6. Терехов А.Г., Калимолдаев М.Н., Долгих С.А., Макаренко Н.Г. Диагностика климатической изменчивости региона Балхаш-Алакольской озёрной системы в период с 1990-2017 гг. по данным спутников LANDSAT // Пятнадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 13-17 ноября 2017 г. ИКИ РАН. Тезисы докладов [Электрон. ресурс]. – URL: [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=144&thesis=6348](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144&thesis=6348) (дата обращения: 11.12. 2017).
7. Терехов А.Г., Калимолдаев М.Н., Долгих С.А., Макаренко Н.Г. Изменение площади пахотных земель в бассейне оз. Эби-Нур (КНР) и в Китайской части долины реки Иле в период 1993-2016 годов по спутниковым данным LANDSAT // Пятнадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 13-17 ноября 2017 г. – ИКИ РАН. Тезисы докладов [Электрон. ресурс]. – URL: [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=144&thesis=6352](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144&thesis=6352) (дата обращения: 11.12. 2017).
8. Climatological Atlas of the People's Republic of China // China Meteorological Press. Zhonghua Renmin. Gongheguo Qihou Tuji. – 2002. – 250 p.
9. Landsat Mission [Электрон. ресурс]. – URL: <https://landsat.usgs.gov/landsat-project-description> (дата обращения: 16.10. 2017).

Поступила 25.12.2017

Техн. ғылымд. канд. А.Г. Терехов

### **LANDSAT СПУТНИКАЛЫҚ МӘЛІМЕТІ БОЙЫНША 1989...2017 ЖЫЛДАР АРАЛЫҒЫНДАҒЫ (ҚХР) МАНАС КӨЛІНІҢ МОНИТОРИНГІСІ**

**Түйінді сөздер:** спутникалық суреттер, су беті айнасының көлемі, көл мөлшерінің динамикасы, көл бассейнінің сумен қамтамасыз етілуі, су құбырлары

*ҚХР) Жоңғар жазығының батыс аймағында орналасқан Манас көлінің 1989...2017 жылдар бойынша LANDSAT-5, 7, 8 суреттерінің арқасында көлдің көлемінің мониторингісі жасалған. Манас көлі Құбық пен Манас өзендерінің және де Қарамай қ. – Қара-Ертіс ө. және Үрімші қ. – Қара-Ертіс өзендерінің сулы құбырлары үшін соңғы ағынсыз сулы объектісі болып келеді. Көлдің бассейнінде бірнеше қалалар орналасқан (Шихэци қ., Манас қ., Хутуби қ., Чанци қ.) және де суарылатын 600 мың гектар егіндік*

жерлер өңделеді. Ауыл шаруашылық жерлерінің сумен қамтамасыз етілген динамикасы Манас көлінің қазіргі су беті айнасының көлемі бойынша диагностика жасалу мүмкін. Көлдің көлемінің мониторингісі соңғы 20 жылда, бастапқы құрғап қалған көл болардың алдында жылдам толуының төрт мерзімді өткерді, ол 1999, 2002, 2010 және 2016 жж. Су беті айнасының көлемі 300 квадраттық км кейде көбейетін. Су беті айнасының қалпына келтіру, сірә Жоңғар жазығы – Қара-Ертіс өзенінің суару жүйесімен байланысты, қазіргі таңда бұл жүйе екі су арналарынан тұрады: Қарамай қ. – Қара-Ертіс өзені (1999 жылдан бастап) және Үрімші қаласында Қара-Ертіс (2007 жылдан бастап пайда болған). Көлдің толуы антропогенді болуы, су қорының табиғи ішкі мезгілдік динамика жоқтығымен байланысты, өйткені аймақтың көлдеріне тән қоректенуі, ол дегеніміз судың көктемдегі максимумымен және жаздық минимумымен байланысты, ал бұл өзеннің өзендердің табиғи қоректенуі жоқ. Манас көлінің толу фазасында су айнасынан булануға байланысты мезгілдік су жоғалуы 0,2-0,3 км<sup>3</sup> немесе Манас өзенінің бассейніндегі орташа жылдық басым ағымының 20...30 % құрайды.

A.G. Terekhov

#### **MONITORING OF LAKE MANAS (CHINA) IN THE PERIOD 1989...2017 YEARS ON BASE OF LANDSAT SATELLITE DATA**

**Keywords:** satellite images, water mirror area, lake size dynamics, water availability of the lake basin, water canal

*Based on 154 images of LANDSAT-5, 7, 8 of the 1989...2017 years period, the size of the Lake Manas, located in the western part of the Dzungarian Plain (China), was monitored. Lake Manas is the final, drainless water body for the Manas, Kubuk river and water canal: Kara Ertis – Karamay; Kara Ertis – Urumqi. In the lake basin there are several cities (Shiheji, Manas, Khutubi, Changji) and about 600,000 ha of the irrigated arable land which are cultivated. The dynamics of water supply to agricultural lands can be diagnosed by the current mirror area of the lake of Manas. Monitoring of the lake mirror area showed that, initially, completely dry lake, in the last 20 years has experienced four periods of sharp filling, in 1999, 2002, 2010 and 2016 years. The lake mirror area periodically increased to 300 km<sup>2</sup>. Apparently, the water mirror restoration is connected with the operation of the irrigation*

*system of the Kara-Ertis River – Dzungar Plain, which is currently represented by two water canals: Kara-Ertis – Karamay (since 1999) and the Kara-Ertis – Urumchi (since 2007). The anthropogenic character of the lake feeding is also confirmed by the lack of the natural seasonal dynamics of water deposits, which included the spring maximum and the summer minimum, that is typical for the natural regional lakes. In the filling phase of the Lake Manas, the seasonal evaporation water losses can reach 0,2...0,3 km<sup>3</sup>. This is 20...30 % of the average annual runoff of the Manas River (the dominant basin river).*