

Оценка сезонного водного баланса бассейна реки Абай в Эфиопии с использованием спутниковых баз данных и специализированной гидрологической модели

Виктор Романович Чупин¹, Агегнеху Китанбо Йоше²

^{1,2}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

²Университет Арба Минч, г. Арба Минч, Эфиопия

Автор, ответственный за переписку: Чупин Виктор Романович, chupinvr@istu.edu

Аннотация. Целью данной работы является исследование сезонного водного баланса бассейна р. Абай в Эфиопии с использованием спутниковых данных открытого доступа и гидрологической модели формирования водных ресурсов. Оценка водного баланса необходима для установления цен на воду и для оптимизации управления водными ресурсами. Проведенный анализ и теоретические исследования показали, что гидрологическое моделирование и дистанционное зондирование являются наиболее приемлемыми подходами для оценки водного баланса. В работе для оценки дефицита воды в засушливый период и избытка ее в сезон дождей были применены модели QGIS, на основе которых рассчитан сезонный водный баланс за шесть лет. При этом использовались метаданные GeoTIFF и дополнительная информация, включающая картографическую проекцию, системы координат, эллипсоиды, базовые данные, необходимые для установления точной пространственной привязки файла. Для анализа водного баланса потребовалась информация, включающая данные по испарению, осадкам, поверхностному стоку и по наземным запасам воды в бассейне р. Абай. Результаты расчетов показали, что в сезон дождей наблюдался существенный избыток воды, а в сухой сезон – ее дефицит. Полученные цифровые значения были использованы для моделирования времени засухи и наводнения, управления городскими дренажными системами и орошением в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: QGIS, данные GLDAS, водный баланс, зональная статистика, сезонное изменение воды, сухой сезон, сезон дождей

Для цитирования: Чупин В. Р., Йоше А. К. Оценка сезонного водного баланса бассейна реки Абай в Эфиопии с использованием спутниковых баз данных и специализированной гидрологической модели // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 606–616. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-606-616>.

Original article

Seasonal water balance of the Abay River Basin assessed using satellite databases and a specialized hydrological model

Viktor R. Chupin¹, Agegnehu K. Yoshe²

^{1,2}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

²Arba Minch University, Arba Minch, Ethiopia

Corresponding author: Viktor R. Chupin, chupinvr@ex.istu.edu

Abstract. The paper examines the seasonal water balance of the Abay River basin (Ethiopia) using open-access satellite data and a hydrological model representing the formation of water resources. The conducted analysis and theoretical studies indicate that hydrological modeling and remote sensing are the most appropriate tools for assessing water balance, which is essential for determining water prices and optimizing water resource management. In this work, QGIS models were applied to estimate water deficit during the dry season and water surplus during the rainy season, using those data to determine seasonal water balance for six years. To this end, the study employed GeoTIFF metadata and addi-

tional information, including a map projection, coordinate systems, ellipsoids, and baseline data necessary to establish the accurate spatial reference of the file. The water balance analysis required data on evaporation, precipitation, surface runoff, and surface water reserves in the Abay River basin. According to the calculation results, a significant surplus of water was noted during the rainy season and its deficit during the dry season. The obtained numerical data were used to model the timing of droughts and floods, as well as to manage urban drainage systems and agricultural irrigation.

Keyword: QGIS, GLDAS data, water balance, zonal statistics, seasonal water change, dry season, rainy season

For citation: Chupin V. R., Yoshe A. K. Seasonal water balance of the Abay River Basin assessed using satellite databases and a specialized hydrological model. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4): 606-616. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-606-616>.

ВВЕДЕНИЕ

Вода важна для жизни населения, так как используется для различных целей: бытовое и промышленное водоснабжение, производство гидроэлектроэнергии, ирригация, отдых, навигация, атмосферное охлаждение, выщелачивание соленой воды, разбавление загрязненной воды, рыболовство и восстановление прибрежных экосистем. Избыточное количество воды приводит к образованию болот и даже наносит вред экологии окружающей среды. Для оптимизации и эффективного управления водными ресурсами важно понимание процесса накопления воды во время сезона дождей и расходование их в сухой период года.

Эфиопия обладает высоким потенциалом водных ресурсов, и в то же время сталкивается с нехваткой воды для орошения и возделывания сельскохозяйственных культур и практически полностью зависит от дождевых осадков. При этом отсутствует эффективная система управления водными ресурсами, что приводит к нерациональному использованию воды для промышленных и сельскохозяйственных нужд. В настоящее время в Эфиопии на хозяйственные нужды используется менее 5% поверхностных вод, в то время как грунтовые воды не используются вообще [1]. Эфиопия является самой динамично развивающейся страной мира с ежегодным экономическим приростом в 9,5%. Правительство поставило амбициозную цель: к 2030 г. сделать Эфиопию самодостаточной страной с развитыми промышленностью и сельским хозяйством [2].

Для достижения этой цели потребуется существенное увеличение:

– объемов воды для снабжения городских

и сельских районов;

– производства сельскохозяйственной продукции за счет орошения;
– охвата гидроэлектростанциями;
– строительства многоуровневых водохранилищ. Для этого требуется провести оценку водных ресурсов и определить возможные объемы их использования без ущерба для всей экосистемы региона и континента.

Формирование и оценка водного баланса является ключевым вопросом для оптимизации использования водных ресурсов и эффективного управления ими. При этом требуется произвести оценку необходимых объемов воды для промышленности и сельского хозяйства в текущем и перспективном периодах реализации государственной программы реформирования¹. Оценка водного баланса необходима и для принятия решений о регулировании воды в водохранилищах и для снижения рисков наводнений в сезон дождей. При этом важны знания суточной потребности в воде для ее многофункционального использования. Формирование баланса также важно для удовлетворения спроса пользователей, расположенных как ниже, так и выше по течению реки. Оценка сезонных колебаний поверхностных вод позволяет определить характеристики временных колебаний воды в реке [3]. Мониторинг водных объектов, анализ изменения объемов воды дают представление о состоянии природных и сельскохозяйственных экосистем [4].

Перспективная оценка водного баланса улучшает знания о региональных и глобальных климатических изменениях и определяет влияние человека на водные ресурсы [5–8]. Изменение климата существенно зависит от

¹Giovanni – The Bridge Between Data and Science // Earthdata [Электронный ресурс]. URL: https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=AcMp&starttime=2018-11-01T00:00:00Z&время_окончания=2019-0831T23:59:59Z&форма=state_dept_countries_2017/shp_71&&данные=TRMM_3B42RT_7_precipitation (21.11.2022).

состояния речного стока во влажные и сухие сезоны года [9]. Антропогенные и климатические изменения влияют на круговорот воды на поверхности земли и для понимания этих процессов требуются дополнительные исследования, моделирование и прогнозирование гидрологических режимов водных объектов [10]. Управление водными ресурсами – это понимание гидрологического цикла речного бассейна [11].

В Эфиопии насчитывается 12 речных бассейнов, важнейшим из которых является бассейн р. Абай (Голубой Нил). Начало р. Нил берет в Африке и является самой длинной рекой в мире [12].

Первая в мире цивилизация, применявшая орошение при выращивании сельскохозяйственных культур, возникла вокруг р. Нил [13]. Нил – трансграничная река, охватывающая водосборный бассейн 11 стран: Демократическая Республика Конго, Танзания, Бурунди, Руанда, Кения, Эфиопия, Эритрея, Южный Судан и Египет и впадающая в Средиземное море [14]. Голубой Нил расположен в северной части Эфиопии и является крупнейшим притоком р. Нил, имеет название Абай и вытекает из озера Тана. Озеро Тана расположено в северной части бассейна, и является крупнейшим пресноводным водоемом в Эфиопии [5].

Сток р. Абай формируется за счет сезонных дождей. Люди в бассейне реки сталкиваются с различными проблемами, в том числе с экстремальными наводнениями и засухой, при этом происходит потеря плодородной почвы и сокращается сельскохозяйственное производство.

Рост численности населения и хозяйственная деятельность оказали большое влияние на эрозию почвы и гидрологию бассейна реки [6], при этом прямое измерение всех компонентов водного баланса не проводилось, так как имеющихся данных недостаточно для его определения. В последние десятилетия спутниковое дистанционное зондирование успешно развивается и играет важную роль при оценке и управлении водными ресурсами. Спутниковые снимки позволяют провести анализ статистических и динамических процессов распределения поверхностных вод в бассейне реки² [9, 11, 16].

На основе современных радиометров производится визуализация с необходимым раз-

решением изображения в видимом инфракрасном диапазоне, что позволяет обнаруживать незначительные изменения поверхности воды в реальном режиме времени. Полученные и обработанные данные формируются в системе MODIS. На основе 8-дневных данных MODIS изучены и оценены изменения водной поверхности озер Китая с 2000 по 2010 гг. [2], на основе месячных данных изучены внутренние водные объекты Центральной Азии (с 1986 по 2012 гг.) [1].

В бассейне р. Абай были проведены различные исследования, такие как временная, пространственная и внутригодовая изменчивость климата.

На основе полученных данных в 1990 г. французскими специалистами по инженерным вопросам BECOM был разработан проект генерального плана комплексного освоения р. Абай. С этого момента началась инвентаризация природных и человеческих ресурсов в бассейне р. Абай, было выполнено описание существующих и перспективных систем природных ресурсов, разработаны модели устойчивого развития и управления водными ресурсами бассейна.

Однако люди, живущие вдоль этого бассейна, продолжают сталкиваться с засухой и наводнениями. Причиной этому является сезонные колебания водных ресурсов, которые не учитывались в водном балансе этого района. Для изучения сезонных колебаний воды в р. Абай на уровне бассейна, предлагается использовать данные модели GLDAS 2.1 и данные дистанционного зондирования за 6 лет – с апреля 2016 по февраль 2022 гг. и произвести их обработку с использованием алгоритма QGIS python.

МЕТОДЫ

Сезон дождей в Эфиопии начинается в апреле и заканчивается в сентябре. Сухой сезон длился с ноября по февраль. Но из-за топографических особенностей Эфиопии различия этих сезонов незначительные³. Эти климатические особенности были проанализированы в данной работе.

Речные данные были получены с помощью системы HydroRIVERS, которая представляет глобальную сеть всех рек мира, имеющих площадь водосбора от 10 км² и более со средним расходом, превышающим или равным 0,1 м³/сут. Данные дистанционного зондирования и оценки осадков (IMERG осадков,

²The World Bank in Ethiopia // The World Bank Group [Электронный ресурс]. URL: <https://www.worldbank.org/en/country/ethiopia/overview> at 10/21/2022; 1:28 (21.11.2022).

³Weather in Ethiopia: Climate, Seasons, and Average Monthly Temperature // TripSavvy [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tripsavvy.com/ethiopia-weather-and-average-temperatures-4071422> (21.11.2022).

в мм/месяц с 2000-06-01 по 2021-09-30) получены с разрешением $0,1^\circ$ со спутника Giovanni⁴.

База данных MODIS была извлечена из приложения готовых образцов (Appears). Данные были доступны с 2001-01-01 по настоящее время⁵.

Информация о запасах воды на земле была собрана в ходе эксперимента по восстановлению гравитации и климата (GRACE TELLUS), и для этих данных JPL, GFZ, CGR GRACE Level-3 ежемесячный выпуск аномалии массы воды в эквиваленте толщины поверхности земли 6.0 версии 04, и доступность

данных с разрешением $0,1^\circ$ была с апреля 2002 по октябрь 2017 гг.⁶. Данные для формирования водного баланса на основе глобальной системы ассимиляции данных о земле (GLDAS 2.1) были получены с диска GES с разрешением $1 \times 1^\circ$ данных GLDAS для модели поверхности водосборного бассейна.

На основании ежемесячных данных, доступных по адресу $1^\circ \times 1^\circ$ с 2000-01-01 по 2022-08-01, сформированы модели водосбора-LSM вариант 2.1. Водораздел бассейна р. Абай был определен с использованием модели ArcGIS, и была сгенерирована соответствующая карта (рис. 1).

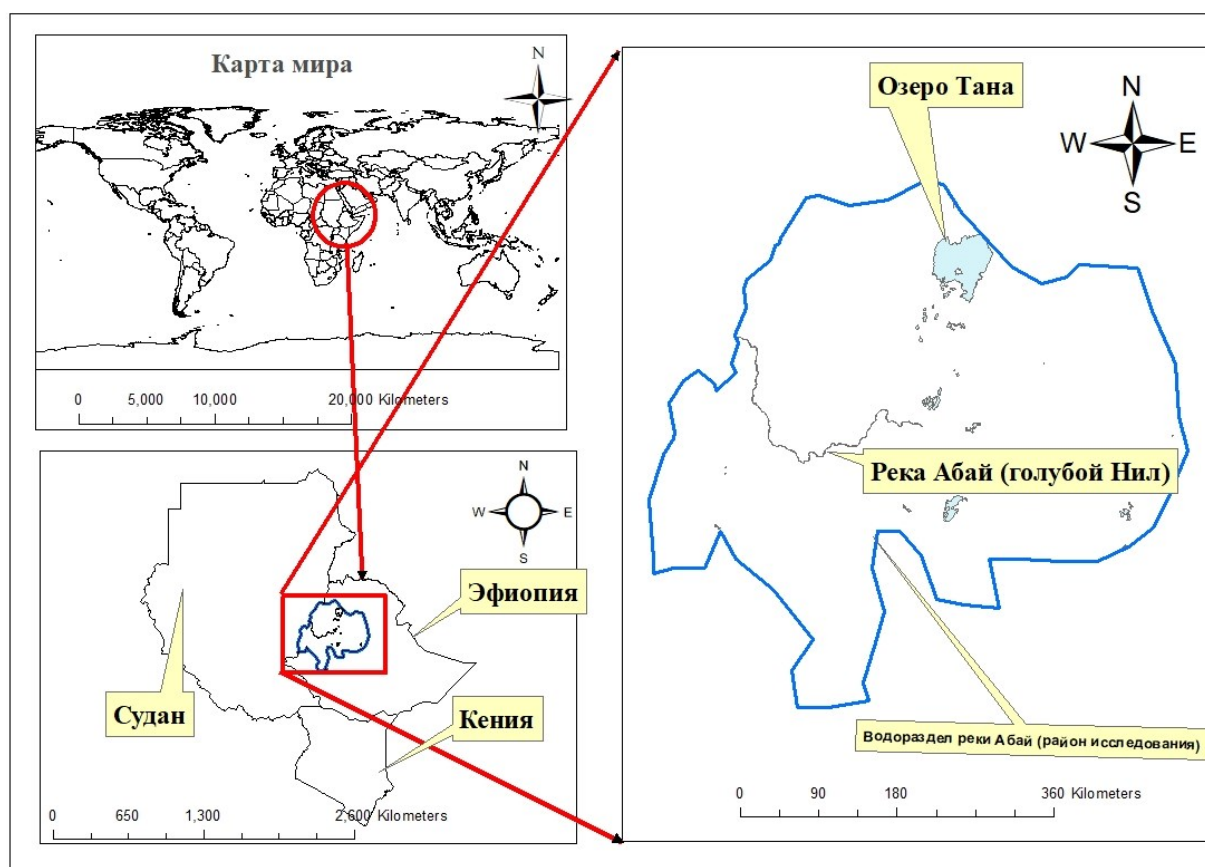


Рис. 1. Карта водосборной площади р. Абай
Fig. 1. Map of the catchment area of the Abay River

Для оценки сезонного водного баланса исследуемой территории был применен метод зонального статистического анализа модельного инструмента QGIS. На основе уравнения водного баланса была оценена сезонная изменчивость воды во влажный и сухой сезоны

времени за 6 лет. Общее уравнение водного баланса имеет следующий вид:

$$P - SR - TWS - ET = \Delta S, \quad (1)$$

где P – осадки; SR – поверхностный сток; TWS – наземные запасы воды; ET – испаре-

⁴Giovanni – The Bridge Between Data and Science // Earthdata [Электронный ресурс]. URL: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> (21.11.2022).

⁵Earthdata login // Earthdatacloud.nasa.gov [Электронный ресурс]. URL: <https://appears.earthdatacloud.nasa.gov/task/area> (21.11.2022).

⁶Measuring Earth's Surface Mass and Water Changes // Jet Propulsion Laboratory [Электронный ресурс]. URL: <https://grace.jpl.nasa.gov/> (21.11.2022).

ние; ΔS – изменение запасов в течение сезона дождей. Исходными данными для формирования QGIS и оценки сезонного водного баланса были определены следующие данные: осадки, испарение, поверхностные запасы воды истока для влажного и сухого периодов года. Для GRACE такие данные (JPL, GFZ, CGR) формировались с помощью дистанционного зондирования. Однако непосредственное использование этих данных для оценки

сезонных изменений воды было затруднительным из-за недостаточной разрешающей способности растровых карт.

Потребовалось разработать специальные алгоритмы, позволяющие повысить точность распознавания космических снимков, включая растровый анализ (рис. 2 и 3) и классификацию данных по группам (рис. 4). Алгоритм работы с космическими съемками и базами данных представлен на рис. 5.

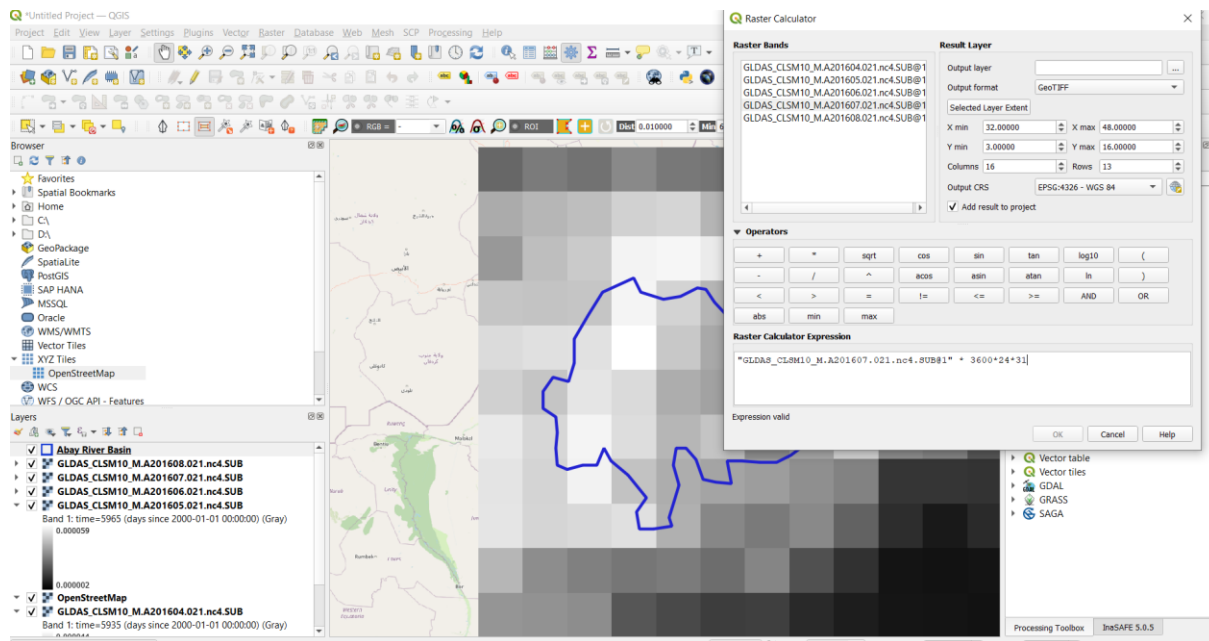


Рис. 2. Растровый анализ для оценки сезонного водного баланса бассейна реки Абай
Fig. 2. Raster analysis to assess the seasonal water balance of the Abay River Basin

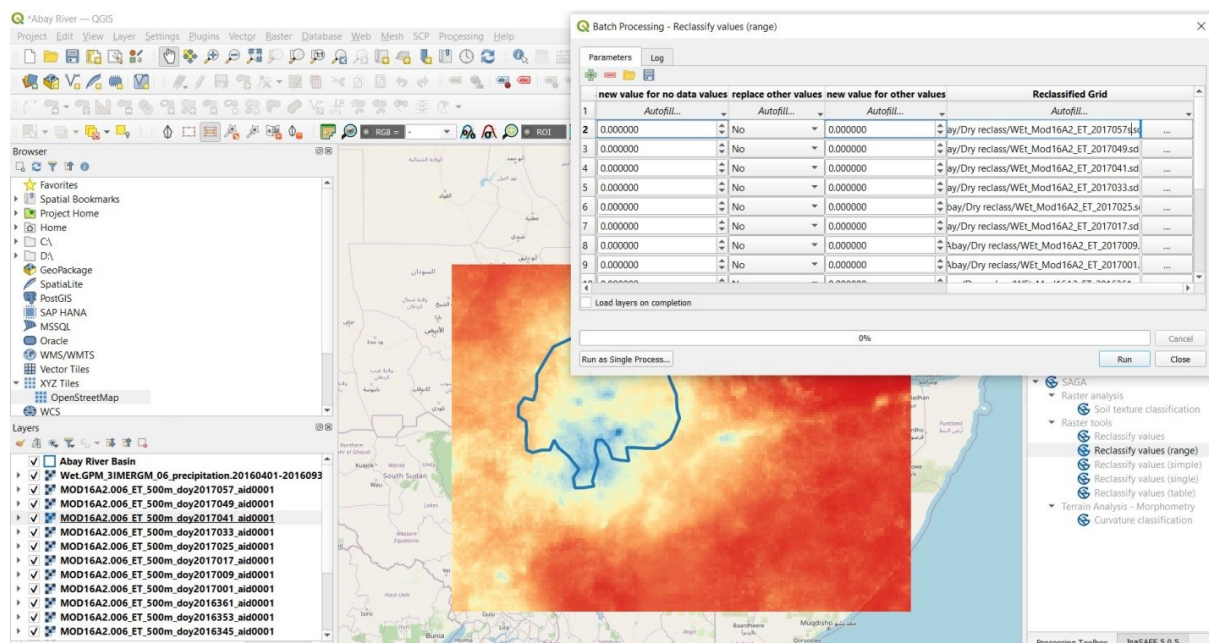


Рис. 3. Классификация данных по диапазонам картографирования
Fig. 3. Classification of data by mapping ranges

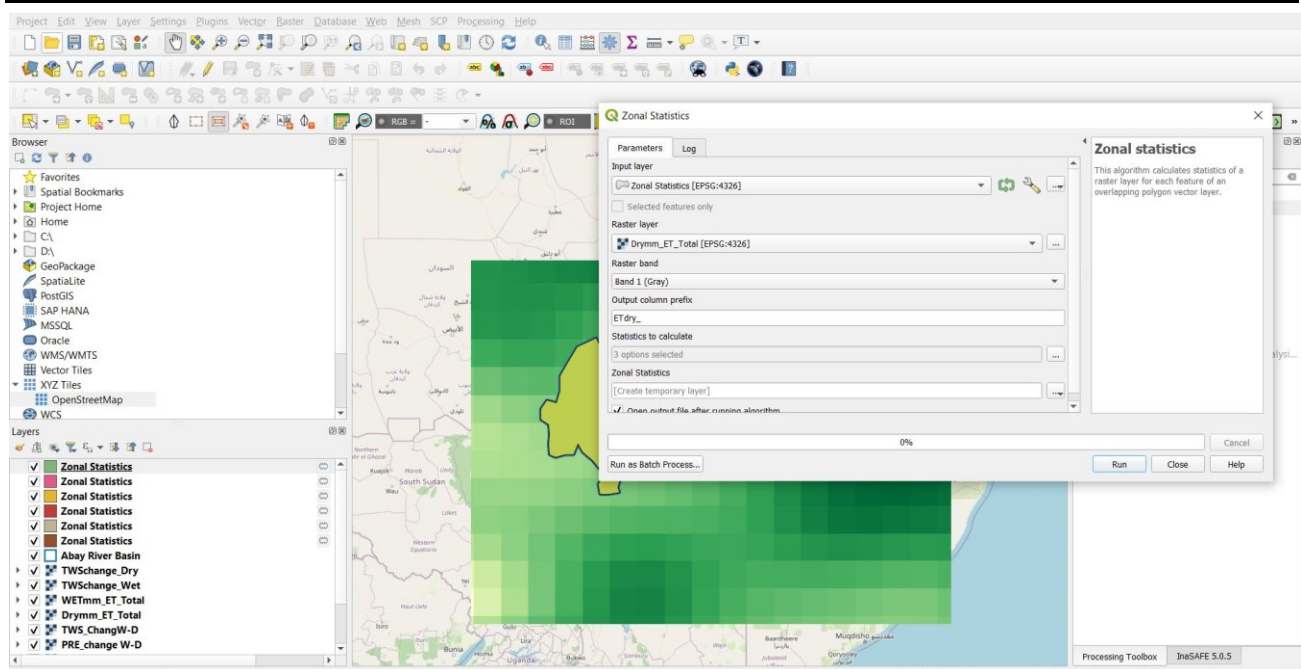


Рис. 4. Зональный статистический анализ
Fig. 4. Zonal statistical analysis



Рис. 5. Алгоритм оценки сезонного водного баланса
Fig. 5. Algorithm for estimating seasonal water balance

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения закономерностей формирования сезонных водных балансов для бассейна р. Абай они были рассчитаны за шесть лет, с апреля 2016 по февраль 2022 гг. Сезонные колебания воды оценивались с помощью уравнения водного баланса. Объемы были оценены путем умножения каждой ком-

поненты водного баланса на площадь водораздела. С помощью дистанционного зондирования и определения водного баланса были использованы имеющиеся данные только за 2016–2017 гг. Из-за их ограниченности для полной картины сезонных изменений воды использовались данные модели GLDAS. Результат расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты оценки водного баланса за год с апреля 2016 по февраль 2017 гг. с использованием данных дистанционного зондирования

Table 1. Results of the water balance assessment for the year from April 2016 to February 2017 using remote sensing data

Компоненты водного баланса	Сезон						Площадь, м²
	влажный, значение (мм)			сухой, значение (мм)			
	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	
Осадки	1246,42	594,0	2259,099	44,73	2,0	299,2409	1,76205e+11
Испарение	344,752	57,5	714,7	107,9	0,3	577	
Наземные запасы воды	8,95	8,75	9,2	-59,5	-81,41	-33,6426	

На основе данных дистанционного зондирования (табл. 2) сезонное изменение воды для влажных условий составило 157,34 млрд м³, для сухого сезона – -0,65 млрд м³. Среднее количество осадков за сезон дождей в бассейне реки составило 219,63 млрд м³, а испарение – 60,75 млрд м³. Для сухого сезона среднее количество осадков по бассейну составило 7,9 млрд м³, а испарение 19,01 млрд м³. Расчетное минимальное количество осадков в 2022 г. составило 594 мм и 2,0 мм, соответственно, для влажного и сухого сезонов года. Расчетное максимальное количество осадков для влажного и сухого сезонов составило 2259,1 мм и 299,24 мм соответственно. Что касается испарения, расчетный максимум составил 714,7 мм и 577 мм для влажного и сухого сезона года соответственно; расчетное минимальное испарение составило 57,5 мм и 0,3 мм для влажного и сухого сезона соответственно. Средние запасы воды в засушливый

период оценивались в 8,95 мм, минимальные – 8,75 мм, максимальные – 9,2 мм, в сезон дождей, соответственно, средние -59,5 мм, максимальные -81,41 мм, минимальные -33,643 мм.

Таким образом, в сухой сезон наблюдался дефицит воды, а в сезон дождей – избыток. Этот результат очень важен для понимания гидрологического состояния речного бассейна и формирования устойчивого управления и оптимизации водными ресурсами региона. Что касается данных дистанционного зондирования, то компонент стока не был оценен, и в течение нескольких месяцев также наблюдались пробелы в данных. В связи с этим для дальнейшей оценки сезонного водного баланса он не использовался. Спрос на воду в бассейне р. Голубой Нил увеличивался среди пользователей верхнего и нижнего течения, и полученный результат был применим для различного водопользования в этом районе.

Таблица 2. Результаты оценки водного баланса за год с апреля 2016 по февраль 2017 гг. с использованием данных модели GLDAS

Table 2. Results of the water balance assessment for the year from April 2016 to February 2017 using GLDAS model data

Компоненты водного баланса	Сезон						Площадь в м²
	влажный, значение (мм)			сухой, значение (мм)			
	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	
Осадки	949,04	692,2	1193,01	42,334	3,314	87,60	1,76205e+11
Испарение	530,014	367,6	665,253	187,52	68,5	415,31	
Наземные запасы воды	214,9	73,21	349,0	-109,3	-275,95	-37,93	
Поверхностный сток	196,6	70,27	336,13	3,01	0,001	7,93	

На основе данных GLDAS и QGIS (табл. 3) бы оценен дефицит воды для сухого сезона и

избыток воды для сезона дождей. Расчетные результаты показали, что сезонные колебания

уровня воды в сезон дождей составили 1,33 млрд м³, а в сухой сезон – -6,9 млрд м³. Отрицательный знак для сухого сезона показывает, что наблюдается дефицит воды и наступает засуха в бассейне реки. Расчетное среднее количество осадков за сезон дождей составило 167,23 млрд м³, а за сухой сезон – 7,50 млрд м³. Среднее испарение за сезон дождей составляет 93,4 млрд м³, а за сухой сезон – 33,05 млрд м³. Расчетное максимальное испарение для влажного сезона составило 665,253 мм, максимального значения для сухого сезона составило 415,31 мм, мини-

мальное значение испарения для влажного периода – 367,6 мм, сухого – 68,5 мм. Наземные запасы: среднее значение составляет 214,9 мм, минимальное значение – 73,21 мм, максимальное значение – 665,253 мм во время сезона дождей. Для сухого сезона расчетное накопление воды на суше составило – 109,3 мм для среднего значения, -275,95 мм для минимального и -37,93 мм для максимального значения в течение сухого сезона.

В 2022 г. во время сухого сезона возник фактический дефицит воды, который практически совпал с расчетным.

Таблица 3. Результат оценки водного баланса за год с апреля 2017 по февраль 2018 гг. с использованием данных модели GLDAS

Table 3. The result of the water balance assessment for the year from April 2017 to February 2018 using GLDAS model data

using CEBAK model data

Компоненты водного баланса	Сезон						Площадь, м ²
	влажный, значение (мм)			сухой, значение (мм)			
	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	
Осадки	901,2	573,07	1245,3	35,8	7,6	71,6	1,76205e+11
Испарение	526,5	336,7	681,94	234,51	101,80	461,623	
Наземные запасы воды	194	97,2	381,82	-145,4	-324,63	-59,3	
Поверхностный сток	137,1	42,56	276,8	0,74	0,004	3,05	

В целом, в бассейне р. Абай был рассчитан сезонный водный баланс за шесть лет – с ноября 2016 г. по февраль 2022 г. (табл. 4), показавший, что в сезоны дождей возникают избыточные водные ресурсы (табл. 4, ст. 2), а в засушливый период – дефицит воды (табл. 4, ст. 3).

Таблица 4. Сезонный водный баланс в бассейне р. Абай

Table 4. Seasonal water balance in the Abay River Basin

Годы	Водные ресурсы, млрд м ³	
	Сезон	
	Влажный	Сухой
2016–2017	1,33	-6,9
2017–2018	7,68	-9,53
2018–2019	5,41	-7,34
2019–2020	6,8	-7,65
2020–2021	16,23	-10,97
2021–2022	9,68	3,56

Важнейшим инструментом для оценки водного баланса в бассейне является использование алгоритма QGIS python, позволяющего исследовать изменчивость водных ресур-

сов практически ежегодно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Ежегодная оценка сезонного водного баланса позволяет спрогнозировать объемы избыточной воды в период дождей и ее дефицит в сухой период года.

2. Разработана методика, позволяющая на основе картографирования и зондирования, использования QGIS системы и гидрологических моделей, рассчитывать текущие и перспективные водные балансы и оперативно решать вопросы их перераспределения, аккумуляции и использования в промышленности и сельском хозяйства ресурсов.

3. На основе разработанных моделей была проведена работа по формированию сезонных водных балансов бассейна р. Абай за шесть лет с ноября 2016 по февраль 2022 гг., и были определены объемы избытка воды в период дождей и ее дефицит в сухой период года.

4. Результаты проведенных исследований были использованы для оптимизации водопользования, проектирования водохранилищ, трубопроводов переброски воды и организации гидромелиоративных систем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Velpuri N. M., Senay G. B., Asante K. O. A multi-source satellite data approach for modelling Lake Turkana water level: calibration and validation using satellite altimetry data // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2012. Vol. 16. P. 1–18. <https://doi.org/10.5194/hess-16-1-2012>.
2. Ferguson H., Znamensky V. Methods of computation of the water balance of large lakes and reservoirs: A contribution to the International Hydrological Programme (Studies and reports in hydrology). Vol. I. Methodology. UNESCO. Paris: Studies and Reports in Hydrology, 1981.
3. Mahe G., Lienou G., Descroix L., Bamba F., Paturel J. E., Laraque A., et al. The rivers of Africa: witness of climate change and human impact on the environment // *Hydrological Processes*. 2013. Vol. 27. Iss. 15. P. 2105–2114. <https://doi.org/10.1002/hyp.9813>.
4. Sutcliffe J. V., Petersen G. Lake Victoria: derivation of a corrected natural water level series // *Hydrological Sciences Journal*. 2007. Vol. 52. Iss. 6. P. 1316–1321. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.6.1316>.
5. Haregeweyn N., Tsunekawa A., Tsubo M., Meshesha D., Adgo E., Poesen J., et al. Analyzing the Hydrologic Effects of Region-Wide Land and Water Development Interventions: A Case Study of the Upper Blue Nile Basin // *Regional Environmental Change*. 2016. Vol. 16. P. 951–966. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0813-2>.
6. Cherinet A. A., Yan D., Wang H., Song X., Qin T., Kassa M. T., et al. Impacts of Recent Climate Trends and Human Activity on the Land Cover Change of the Abbay River Basin in Ethiopia // *Advances in Meteorology*. 2019. P. 5250870. <https://doi.org/10.1155/2019/5250870>.
7. Tekleab S., Mohamed Y., Uhlenbrook S. Hydro-Climatic Trends in the Abey/Upper Blue Nile Basin, Ethiopia // *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C*. 2013. Vol. 61-62. P. 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.04.017>.
8. Tefera A. H. Application of water balance model simulation for water resource assessment in upper blue Nile of north Ethiopia using hec-hms by GIS and remote sensing: case of Beles River basin // *International Journal of Hydrology*. 2017. Vol. 1. Iss. 7. P. 222–227. <https://doi.org/10.15406/ijh.2017.01.00038>.
9. Wagener T., Sivapalan M., Troch P. A., McGlynn B. L., Harman C. J., Gupta H. V., [et al.]. The future of hydrology: An evolving science for a changing world // *Water Resources Research*. 2010. Vol. 46. No. 5. P. 05301. <https://doi.org/10.1029/2009WR008906>.
10. Bracht-Flyr B., Istanbuloglu E., Fritz S. A hydro-climatological lake classification model and its evaluation using global data // *Journal of Hydrology*. 2013. Vol. 486. P. 376–383. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.003>.
11. Taboada-Castro M. M., Rodríguez-Blanco M. L., Taboada-Castro M. T. Assessment of seasonal variations in stream water by principal component analysis // *ECOSUD-2007. Ecology and the Environment*, 2007. Vol. 106. P. 10. <https://doi.org/10.2495/ECO070511>.
12. Belkhir L., Tiri A., Mouni L. Chapter 2. Assessment of heavy metals contamination in groundwater: A case study of the South of Setif Area, East Algeria. In book: *Achievements and Challenges of Integrated River Basin Management*. Eds. Dejan Komatina. 2018. P. 18–31. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75734>.
13. Cherinet A., Yan D., Wang H., Song X., Qin T., Kassa M., [et al.]. Climate Trends of Temperature, Precipitation and River Discharge in the Abbay River Basin in Ethiopia // *Journal of Water Resource and Protection*. 2019. № 11. P. 1292–1311. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.1110075>.
14. Xianghong Che, Min Feng, Joe Sexton, Saurabh Channan, Qing Sun, Qing Ying, [et al.]. Landsat-Based Estimation of Seasonal Water Cover and Change in Arid and Semi-Arid Central Asia (2000–2015) // *Remote Sens*. 2019. Vol. 11. P. 1323. <https://doi.org/10.3390/rs11111323>.
15. Woodward J. C., Macklin M. G., Krom M. D., Williams M. A. J. Chapter 13. The Nile: Evolution, Quaternary River Environments and Material Fluxes. In: A. Gupta, Eds. Book: *Large Rivers: Geomorphology and Management*. Chichester: Wiley, 2007. P. 261–292. <https://doi.org/10.1002/9780470723722.ch13>.
16. Raja Shoaib Zahoor, Haider Bin Shakeel, Muzammil Munir, Hassan Raza. Assessment of groundwater quality for drinking purposes in Jhang city, Punjab // *International Journal of Hydrology*. 2022. Vol. 6. No. 5. P. 172–176.

REFERENCES

1. Velpuri N. M., Senay G. B., Asante K. O. A multi-source satellite data approach for modelling Lake Turkana water level: calibration and validation using satellite altimetry data. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2012;16:1-18. <https://doi.org/10.5194/hess-16-1-2012>.
2. Ferguson H., Znamensky V. Methods of computation of the water balance of large lakes and reservoirs: A contribution to the International Hydrological Programme (Studies and reports in hydrology). Vol. I. Methodology. UNESCO. Paris: Studies and Reports in Hydrology; 1981.
3. Mahe G., Lienou G., Descroix L., Bamba F. The rivers of Africa: witness of climate change and hu-

- man impact on the environment. *Hydrological Processes*. 2013;27(15):2105-2114. <https://doi.org/10.1002/hyp.9813>.
4. Sutcliffe J. V., Petersen G. Lake Victoria: derivation of a corrected natural water level series. *Hydrological Sciences Journal*. 2007;52(6):1316-1321. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.6.1316>.
5. Haregeweyn N., Tsunekawa A., Tsubo M., Meshesha D., Adgo E., Poesen J., et al. Analyzing the Hydrologic Effects of Region-Wide Land and Water Development Interventions: A Case Study of the Upper Blue Nile Basin. *Regional Environmental Change*. 2016;16:951-966. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0813-2>.
6. Cherinet A. A., Yan D., Wang H., Song X., Qin T., Kassa M. T., [et al.]. Impacts of Recent Climate Trends and Human Activity on the Land Cover Change of the Abbay River Basin in Ethiopia. *Advances in Meteorology*. 2019;5250870. <https://doi.org/10.1155/2019/5250870>.
7. Tekleab S., Mohamed Y., Uhlenbrook S. Hydro-Climatic Trends in the Abey/Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C*. 2013;61-62:32-42. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.04.017>.
8. Tefera A. H. Application of water balance model simulation for water resource assessment in upper blue Nile of north Ethiopia using hec-hms by gis and remote sensing: case of beles river basin. *International Journal of Hydrology*. 2017;1(7):222-227. <https://doi.org/10.15406/ijh.2017.01.00038>.
9. Wagener T., Sivapalan M., Troch P. A., McGlynn B. L., Harman C. J., Gupta H. V., et al. The future of hydrology: An evolving science for a changing world. *Water Resources Research*. 2010;46(5):05301. <https://doi.org/10.1029/2009WR008906>.
10. Bracht-Flyr B., Istanbuluoglu E., Fritz S. A hydro-climatological lake classification model and its evaluation using global data. *Journal of Hydrology*. 2013;486:376-383. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.003>.
11. Taboada-Castro M. M., Rodríguez-Blanco M. L., Taboada-Castro M. T. Assessment of seasonal variations in stream water by principal component analysis. *ECOSUD-2007. Ecology and the Environment*, 2007;106:10. <https://doi.org/10.2495/ECO070511>.
12. Belkhir L., Tiri A., Mouni L. Chapter 2. Assessment of heavy metals contamination in groundwater: A case study of the South of Setif Area, East Algeria. In: *Achievements and Challenges of Integrated River Basin Management*. Eds. D. Komatina. 2018. p. 18-31. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75734>.
13. Cherinet A., Yan D., Wang H., Song X., Qin T., Kassa M., [et al.]. Climate Trends of Temperature, Precipitation and River Discharge in the Abbay River Basin in Ethiopia. *Journal of Water Resource and Protection*. 2019;11:1292-1311. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.1110075>.
14. Xianghong Che, Min Feng, Joe Sexton, Saurabh Channan, Qing Sun, Qing Ying, [et al.]. Landsat-Based Estimation of Seasonal Water Cover and Change in Arid and Semi-Arid Central Asia (2000–2015). *Remote Sens*. 2019;11:1323. <https://doi.org/10.3390/rs11111323>.
15. Woodward J. C., Macklin M. G., Krom M. D., Williams M. A. J. Chapter 13. The Nile: Evolution, Quaternary River Environments and Material Fluxes. In: A. Gupta, Eds. Book: Large Rivers: Geomorphology and Management. Chichester: Wiley; 2007. P. 261–292. <https://doi.org/10.1002/9780470723722.ch13>.
16. Raja Shoaib Zahoor, Haider Bin Shakeel, Muzammil Munir, Hassan Raza. Assessment of groundwater quality for drinking purposes in Jhang city, Punjab. *International Journal of Hydrology*. 2022;6(5):172-176.

Информация об авторах

В. Р. Чупин,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой городского
строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: chupinvr@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-5460-4780>

Information about the authors

Victor R. Chupin,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Head of the Department of Urban
Construction and Economy,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: chupinvr@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-5460-4780>

А. К. Йоше,
преподаватель кафедры охраны
окружающей среды,
Университет Арба Минч,
г. Арба Минч, Почтовое отделение 21, Эфиопия,
Аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: kitanbo@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3792-5854>

Agegnehu K. Yoshe,
Lecturer Department of Water Resources
and Irrigation Engineering,
Arba Minch University,
21 Post Office Box, Arba Minch, Ethiopia,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: kitanbo@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3792-5854>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 21.11.2022.
Одобрена после рецензирования 30.11.2022.
Принята к публикации 01.12.2022.

Information about the article

The article was submitted 21.11.2022.
Approved after reviewing 30.11.2022.
Accepted for publication 01.12.2022.