КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

УДК 528.4 https://doi.org/10.5281/zenodo.14721220

Мирмахмудов Э.Р.[1,2], Адамбаев А.Р.[2], Бахтиёрова М.М.[2], Давлатова С.Х.[2]

[1]Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан
[2]Ургенчский государственный университет, Ургенч, Узбекистан

ПЕРВОНАЧАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СМЕЩЕНИЯ ОСИ ВОДОМЕРНОЙ РЕЙКИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПОСТА “ТУЯМУЙН”

Аннотация. *В статье описывается методика определения отклонения оси водомерной рейки гидрологического поста “Туямуйн”. Излагается способ измерения смещения на основе математической статистики для уровенных постов. Приведены расчетные формулы для вычисления величины крена рейки относительно отвесной линии. Выполнены геодезические измерения на берегу реки Амударья с помощью электронно-оптического тахеометра Focus 2.5. Произведен анализ деформации рейки по разностям значений отсчетов относительно вертикальной лиинии и наклонной линии. Графически представлена дисперсия измеренных величин от математического ожидания, которая находится в пределах допустимого. Отмечается, что прямой метод измерений в гидрологических работах может служить контролем для косвенного метода. Для исследования изменения нуля рейки предлагается производить систематические измерения с помощью других типов инструментов при различных расстояниях от рейки.*

Ключевые слова: *рейка, математическое ожидание, геодезические измерения, уровенный пост, СКО.*

Mirmakhmudov E.[1,2], Adambaev A.[2], Baxtiyorova M.[2], Davlatova S.[2]

[1]National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan
[2]Urgench State University, Urgench, Uzbekistan

INITIAL ACCURACY OF DEVIATION OF THE AXIS OF THE LEVEL GAUGE RAIL OF THE HYDROLOGICAL POST “TUYAMUYN”

Abstract. *The article describes the method of determining the deviation of the axis of the water meter rod of the Tuyamuin hydrological post. The method of measuring the displacement based on mathematical statistics for level posts is presented. Calculation formulas for calculating the value of the rod inclination relative to the plumb line are given. Geodetic measurements were performed using an electron-optical tacheometer Focus 2.5. An analysis of the deformation of the rod was made by the differences in the values of readings relative to the vertical line and the inclined line of the rod. The dispersion of the measured values from the mathematical expectation, which is within the permissible limits, is graphically presented. It is noted that the direct measurement method in hydrological work can serve as a control for the indirect method. To study the change in the zero of the rod, it is proposed to carry out systematic measurements using other types of instruments at different distances from the rod.*

Key words: *rod, mathematical expectation, geodetic measurements, level post, standard deviation.*

Введение и постановка проблемы. В многочисленных источниках и научных публикациях описывается методика определения величины ошибок измерений.

Приводятся экспериментальные примеры и теоретические доказательства среднего арифметического (математического ожидания). Если детальнее рассмотреть эту проблему, то становится очевидным, что среднее арифметическое и математическое ожидание (МО) отличаются незначительно. В связи с этим, при обработке или вычислениях эти параметры считают одинаковыми. Такая трактовка дает основание студентам высших учебных заведений легче осваивать учебный материал по дисциплине “Теория математической обработки геодезических измерений”. Вышеуказанные причины привели к написанию данной статьи, которая раскрывает геометрическую сущность МО, полученную по геодезическим измерениям на гидрологическом посту “Туямуйн”.

В процессе вычислений особое внимание уделяется оценке внутренней и внешней точности, несмотря на предварительный и промежуточный контроли. Завершающим этапом является вычисление параметров ошибок плановых или пространственных координат пунктов. Эти параметры показывают слабые участки сети, в которых должны быть использованы более точные аналитические или численные методы. Возникает вопрос о пересмотре классических способов уравнивания путем модификации или же разработки комбинированных методов на основе современных цифровых технологий и геоинформационных систем. Хотя линейно-угловые измерения с помощью оптико-электронных тахеометров не утратили своего значения, а в некоторых случаях они даже являются более надежными по сравнению с радиотехническими методами, топографо-геодезические организации предпочитают использовать GNSS приемники [1,9]. Однако при определении наклона зданий, сооружений или линейных объектов наиболее оптимальным способом являются угловые измерения отклонений относительно отвесной линии (перпендикуляра к уровенной поверхности). Для надежного определения наклона линейных объектов должны быть произведены угловые измерения с помощью тахеометров, соблюдая все требования к юстировке и поверке инструментов. Полученные данные должны быть обработаны методами теории вероятности и математической статистики [5].

Изученность вопроса. Известно, что методами математической статистики можно вычислить числовые характеристики случайной величины и закон ее распределения, а также найти величину рассеивания. В первую очередь необходимо вычислить среднее арифметическое из совокупности всех измерений, т.е. найти вероятностную величину [3].



Рис. 1. Схема расположения гидрологического поста “Туямуйн” [14]

Обычно на практике применяют стохастический способ оценки и начинают с определения МО или арифметической средины. По результатам отклонения измеренных значений от среднего значения можно судить о качестве полученных данных. Графоаналитический способ помогает исключить грубые измерения, но для этой цели должны быть минимум 10-20 измерений, которые выполнены одним и тем же прибором в одинаковых условиях, т.е. считать, что все значения имеют одинаковый вес [6]. В

принципе, использование неравноточных измерений также может привести к оценке точности случайной величины. Для тестирования мы будем использовать равноточные измерения, которые выполнены на гидрологических станциях прибрежной зоны реки Амударья (рис. 1). Хотя можно использовать любые числовые характеристики, полученные оптическими и радиотехническими методами для целей геодезии и гидрологии [7,8].

Цель и задачи работы. Целью работы является анализ центрального момента случайной величины по результатам смещения оси свайной рейки гидрологического поста “Туямуйн”, основной задачей является оценка точности измерений.

Материалы и методы. *Методика определения МО.* Методика определения МО дискретных значений начинается с составления таблицы величин, полученных в результате эксперимента или по полевым работам. Надо обратить внимание на условные обозначения или символы при вычислении параметров критерия ошибок. Они могут быть любыми, но на практике обозначаются греческими буквами из-за отличия их от кириллицы, т.е. для исключения путаницы между буквами в тексте и используемыми на практике. Эти незначительные отличия создают сомнения у студентов геодезических специальностей, когда они сталкиваются с реальными полевыми измерениями. Поэтому, прежде чем начать процедуру обработки экспериментальных данных, необходимо использовать глоссарий терминов и условных обозначений. Ссылаясь на стандартные выражения и обозначения, ниже приведены этапы вычисления МО для реальных величин на гидрологических постах.

МО случайной величины x или совокупности данных x_i можно выразить следующей формулой

$$M(t) = \frac{M(x) - M(X)}{\sigma} = 0, \tag{1}$$

где X представляет среднее значение, разделенное на количество дискретных величин, σ является средней квадратической ошибкой (СКО) с весом равным единице.

В [2] приведено, что МО подчиняется нормальному закону распределения с плотностью

$$\varphi(x) = \frac{e^{-\frac{(x-a)^2}{2\rho^2}}}{\sqrt{2\pi}\sigma} \tag{2}$$

которое равно параметру a этого закона.

Обычно используют центральные абсолютные моменты случайной величины. Однако, среди них наиболее важное значение имеет среднее отклонение, которую можно выразить следующим образом

$$\vartheta = \mathrm{M}\{[x - M(x)]\} = \nu_1 \tag{3}$$

Особое значение имеет центральный момент второго порядка, т.е. дисперсия, которая характеризует степень рассеивания случайной величины относительно центра распределения или среднего значения. Она обозначается буквой D и ее можно выразить формулой

$$D = M\{[x - M(x)]^2\} \tag{4}$$

По результатам отклонений можно минимизировать невязки, связанные с системой условных уравнений.

Методика измерений и вычислений. В качестве тестирования были выбраны объекты и свайные рейки гидрометеорологической станции “Туямуйн” [13,16], расположенной на берегу реки Амударья в Хорезмской области (рис. 2).

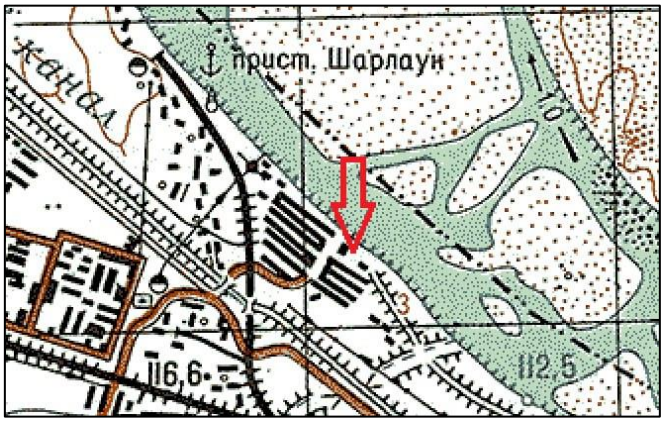


Рис. 2. Фрагмент топографической карты с указанием поста “Туямуйн”

Таких гидрологических постов вдоль реки насчитывается более 5, которые служат для регистрации уровня реки с помощью самописцев, установленных в специальных помещениях. К сожалению, в 2023 году такое оборудование было снесено ледяной глыбой реки Амударьи. Помимо этого, первоначальная свайная рейка оказалась на суше из-за снижения уровня реки. Поэтому уровномерная рейка была установлена в нескольких метрах от первонального места. С течением времени свайная рейка была подвержена определенному крену [15]. В результате появился незначительный угол между осью рейки и отвесной линией. Этот угол был вычислен с помощью оптико-электронного тахеометра Focus 2,5 (рис. 3).



Рис. 3. Измерение с помощью тахеомера Focus

Перед началом измерений были определены коллимационная ошибка (c = 2) и место нуля для горизонтального и вертикального кругов [4]. Методика измерений заключалась в следующем:

1. Тахеометр был приведен в горизонтальную плоскость с помощью круглого уровня.
2. Выполнены поверки и юстировки инструмента.
3. При одном положении горизонтального груга зафиксированы условные отметки верхней, нижней части свайной рейки (рис. 4) и вертикальной линии.
4. Произведено более 10 измерений отклонения вертикальной линии от нижней части наклонной рейки.



Рис. 4. Свайная рейка гидрологического поста “Туямуйн”

Вычисленные угловые смещения оси β_i свайной рейки приведены в таблице 1, которые получены на основе разности отсчетов по горизонтальному кругу между вертикальной линии (*ГК* отвес) и краем рейки (*ГК* рейка), соприкасающейся с водной поверхностью. При этом была учтена длина отрезка между нулем рейки и водной поверхностью, которая должна быть использована при вычислении длины отвесной и наклонной линии уровномерной рейки.

Таблица 1

Результаты измерения смещений водомерной рейки

№	$ГК_{отвес}$	$ГК_{рейка}$	β_i	ν_i
	2	3	4	5
1	232 35 03	233 02 14	00 27 11	1.9
2	232 35 09	233 02 18	00 27 09	-0.1
3	232 35 09	233 02 12	00 27 03	-6.1
4	232 35 11	233 02 18	00 27 07	-2.1
5	232 35 01	233 02 16	00 27 15	5.9
6	232 35 02	233 02 12	00 27 10	0.9
7	232 35 07	233 02 15	00 27 08	-1.1
8	232 35 08	233 02 17	00 27 09	-0.1
9	232 35 05	233 02 16	00 27 11	1.9
10	232 35 06	233 02 14	00 27 08	-1.1

По отклонениям (ν_i) можно судить о качестве выполненных работ с помощью тахеометра Focus 2.5. Но точность наблюдений зависит от влияния внешних факторов [10,11]. Было предложено произвести измерения в одинаковых климатических условиях и одним инструментом. Такая постановка приводит нас к тому, что результаты можно считать равноточными и вес каждой величины будет равно единице. В таком случае, СКО единицы веса можно выразить следующей формулой

$$\sigma_{\beta i} = \sqrt{\frac{[\nu\nu]}{n-1}} \qquad (5)$$

Результаты и их обсуждение. По значениям ν_i построен график зависимости от количества наблюдений. С помощью такой процедуры можно произвести контроль вычислений и исключить грубые измерения, а также найти корреляцию между

определяемыми параметрами. Ниже на графике приведены результаты отклонений от среднего значения для 10 дискретных точек (рис. 5).

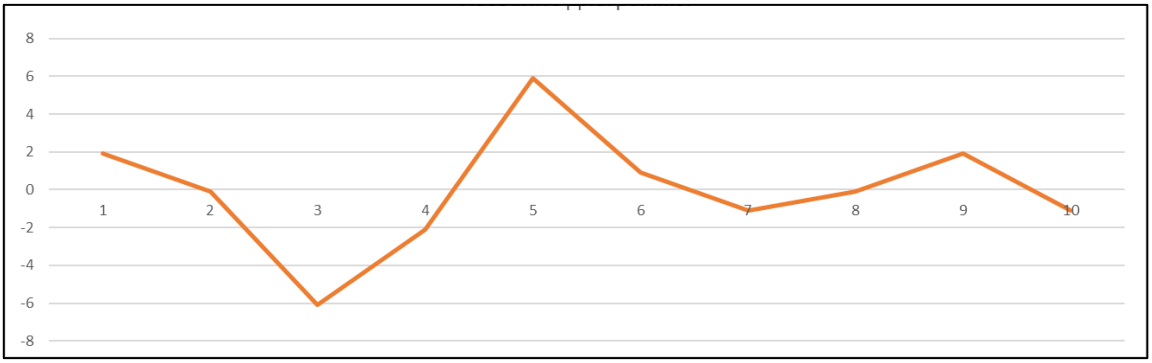


Рис. 5. График изменения среднего значений смещения рейки

Из рисунка 5 видно, что результаты третьего и пятого измерений немного отличаются от остальных данных. Это связано с тем, что угловые измерения выполнялись впервые на этих постах сотрудниками кафедры геодезии, картографии и кадастра Ургенского государственного университета. Отсутствие определенного опыта и навыков привели к таким незначительным отклонениям.

По результатам v_i была вычислена СКО, которая оказалась равна ± 3.1 угловых секунд, что является допустимой для такого типа тахеометра. Что качается линейной величины смещения, то она составила 2.33см.

По результатам вычислений можно произвести анализ сдвига с учетом деформации свайной рейки. Графоаналитическая интерпретация показывает, что необходимо не менее 20 дискретных величин для детальной оценки полученных данных, а также использовать косвенный способ для контроля вычислений. Помимо этого, целесообразно производить измерения различными электронно-оптическими тахеометрами для исключения систематических ошибок. Если нет возможности использовать различные инструменты, то необходимо менять местоположение инструмента.

В теории математической обработки рассматривается случай, когда одна и та же величина определена разными инструментами и измерителями. Тогда точности будет отличаться от стандартно принятого выражения, т.е. формулу можно представить следующим образом

$$m_i = \pm\sqrt{\frac{[d'^2]}{2(n-1)}}, \tag{6}$$

а ошибку из парных наблюдений можно представить формулой

$$m_i = \pm\frac{1}{2}\sqrt{\frac{[d'^2]}{(n-1)}}. \tag{7}$$

Вышеописанный способ является косвенным методом, который требует тщательной проверки всех этапов вычислений. В первую очередь, следует обратить внимание на МО и дисперсию. Если эти параметры удовлетворяют требованиям точности математической статистики, тогда средняя квадратическая ошибка параметров и функции не будет превосходить принятого на практике правила 3σ. Что качается других способов, то наиболее надежным является прямой метод.

Прямой метод определения смещения рейки основан на использовании геодезической рулетки и транспортира, которые должны пройти калибровочную

поверку на наличие систематических и инструментальных погрешностей. Основная трудность в этом методе является наличие стабильности вертикальной или отвесной нити, опущенной относительно верхней части свайной рейки. Здесь присутствует человеческий фактор, который влияет на точность измерения угла и линейного смещения.

Выводы. В заключении можно отметить, что надежность вычисления среднего значения (МО) измеряемой величины позволит корректно произвести предварительную оценку точности определяемых параметров в гидрологических постах, расположенных в прибрежной зоне реки Амударья. В дальнейшем предполагается использовать ГНСС приемники для создания опорной геодезической сети и привязки их к национальной спутниковой геодезической сети.

Полученные данные играют важную роль при подсчете водного баланса [12], т.к. планирование ирригационных систем в Хорезмской области является приоритетной задачей.

Вышеописанные исследования незначительно помогут в регулировании питьевой воды и полевых работ, связанных с посевом зерновых и других растительных культур.

Благодарность. *Авторы признательны сотрудникам кафедры геодезии, картографии и кадастра Ургенчского государственного университета за оказанную помощь*.

Использованная литература:

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Москва: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. Т. 1. 334 с.

2. Большаков В.Д., Гайдаев П.А. Теория математической обработки геодезических измерений. Москва: Недра,1977. 368 с.

3. Бурмистров Г.А. Задачник по способу наименьших квадратов. Москва: Геодезиздат, 1960. 348 с.

4. Гиршберг М.А. Геодезия. Москва: Недра, 1967. 384 с.

5. Гнедин Б.В., Хинчин А.Я. Введение в теорию вероятностей. Москва: Наука, 1982. 158 с.

6. Гнурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. Москва: Высшая школа, 1979. 400 с.

7. Кадыров А.Г., Ражабова Д.Р. Геометрическая интерпретация крена водомерной рейки уровенного поста “Чиназ” (Узбекистан) // Наука и образование в современном мире – вызовы XXI века. Науки о Земле. Материалы XIII Международной научно-практической конференции. Астана, 2023. С. 7.

8. Мирмахмудов Э.Р., Тошонов Б.Ш., Тлеумуратова Г.М., Тастемирова М.Г. Анализ точности наклона водомерной рейки гидрологического поста “Чиназ” // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2023. № 3-4. С. 133-141.

9. Мирмахмудов Э.Р., Тлеумуратова Г.М., Адамбаев А.Р. О совершенствовании координатной основы уровенных постов низовья реки Амударья по ГНСС измерениям // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс. Сборник материалов: Международная научная конференция «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». Новосибирск: СГУГиТ, 2024. Т. 4. № 2. С. 17-22.

10. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1984. Вып. 9, ч. 1. 313 с.

11. Остроумов В.З., Шануров Г.А., Масленников А.В. Повышение точности определения высот уровенных постов // Геодезия и картография. 2003. № 11. С. 25-29.

12. Руководящий технический материал. Высотная привязка уровенных постов (ГКИНП 03 215 88). Москва: ЦНИИГАиК, 1988. С. 41.

13. Топографическая карта 1:100 000. Эл. доступ: www.google.com/EarthMap (Дата обращения: 10.12.2024)

14. www.google.com/EarthMap (Дата обращения: 11.12.2024)

15. Рубинова Ф.Э., Какурина Е.Г., Матвеева О.С. Изменение стока Амударьи под влиянием водохозяйственного строительства в ее бассейне // Труды САНИИРИ. 1980. Вып. 77. С. 80-89.

16. Хикматов Ф.Х., Аденбаев Б.Е., Ибраев Р.А. Динамика поступления речных вод в дельту реки Амударьи // Известия Географического общества Узбекистана. 2008. Том 31. С. 57-59.

References:

1. Antonovich K.M. (2005), *Use of satellite radio navigation systems in geodesy*, Moscow, vol. 1, 334 p. (in Russ.).

2. Bolshakov V.D., Gaidaev P.A. (1977), *Theory of mathematical processing of geodetic measurements*, Moscow, 368 p. (in Russ.).

3. Burmistrov G.A. (1960), *Problem book on the least squares method*, Moscow, 348 p. (in Russ.).

4. Girshberg M.A. (1967), *Geodesy*, Moscow, 384 p. (in Russ.).

5. Gnedin B.V., Khinchin A.Ya. (1982), *Introduction to probability theory*, Moscow, 158 p. (in Russ.).

6. Gnurman V.E. (1979), *Guide to solving problems in probability theory and mathematical statistics*, Moscow, 400 p. (in Russ.).

7. Kadyrov A.G., Rajabova D.R. (2023), Geometric interpretation of the roll of the water meter rod of the level post "Chinaz" (Uzbekistan), *Proceedings of the XIII scientific and practical conference: Science and education in the modern world - Challenges of the 21st century. Earth Sciences*, Astana, p. 7. (in Russ.).

8. Mirmakhmudov E.R., Toshonov B.Sh., Tleumuratova G.M., Tastemirova M.G. (2023), Analysis of the accuracy of the tilt of the water meter rod of the hydrological post "Chinaz", *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 3-4, pp. 133-141. (in Russ.).

9. Mirmakhmudov E.R., Tleumuratova G.M., Adambaev A.R. (2024), On improving the coordinate basis of level posts in the lower reaches of the Amu Darya River using GNSS measurements, *Inter Expo GEO-Siberia. XX International Scientific Congress. Collection of materials: International scientific conference "Remote methods of Earth sensing and photogrammetry, environmental monitoring, geoecology"*, Novosibirsk, vol. 4, No. 2, pp. 17-22. (in Russ.).

10. *Instructions for hydrometeorological stations and posts* (1984), Leningrad, Issue 9, part 1, 313 p. (in Russ.).

11. Ostroumov V.Z., Shanurov G.A., Maslennikov A.V. (2003), Improving the accuracy of determining the heights of water level posts, *Geodesy and Cartography*, No. 11, pp. 25-29. (in Russ.).

12. *Guiding technical material. Elevation reference of water level posts (GKINP 03 215 88)* (1988), Moscow, p. 41. (in Russ.).

13. *Topographic map 1:100 000*. URL: www.google.com/EarthMap (date of access 12/10/2024)

14. www.google.com/EarthMap (date of access 12/11/2024)

15. Rubinova F.E., Kakurina E.G., Matveeva O.S. (1980), Change in the flow of the Amu Darya under the influence of water management construction in its basin, *Proceedings of SANIIRI,* Issue 77, pp. 80-89. (in Russ.).

16. Khikmatov F.Kh., Adenbaev B.E., Ibraev R.A. (2008), Dynamics of river water inflow into the Amu Darya River delta, *The Annales of the Geographical Society of Uzbekistan*, No. 31, pp. 57-59. (in Russ.).

Сведения об авторах:

Мирмахмудов Эркин Рахимжанович – Национальный университет Узбекистана (Ташкент, Узбекистан), Ургенчский государственный университет (Ургенч, Узбекистан), доктор географических наук, профессор. E-mail: erkin_mir@mail.ru.

Адамбаев Алишер Равшанбек угли – Ургенчский государственный университет (Ургенч, Узбекистан), базовый докторант. E-mail: adambayev1994@gmail.com

Бахтиёрова Мафтуна Максуд кизи – Ургенчский государственный университет (Ургенч, Узбекистан), магистрант. E-mail: baxtiyorova888@gmail.com

Давлатова Солияжон Хажибаевна - Ургенчский государственный университет (Ургенч, Узбекистан), магистрант. E-mail: soliyajondavlatova@gmail.com

Information about authors:

Erkin Mirmakhmudov – National University of Uzbekistan (Tashkent, Uzbekistan), Urgench State University (Urgench, Uzbekistan), Doctor of Geographical Sciences, Professor. E-mail: erkin_mir@mail.ru.

Alisher Adambaev – Urgench State University (Urgench, Uzbekistan), basical doctoral student. E-mail: adambayev1994@gmail.com

Maftuna Baxtiyorova – Urgench State University (Urgench, Uzbekistan), graduate student. E-mail: baxtiyorova888@gmail.com

Soliyajon Davlatova – Urgench State University (Urgench, Uzbekistan), graduate student. E-mail: soliyajondavlatova@gmail.com

Для цитирования:

Мирмахмудов Э.М., Адамбаев А.Р., Бахтиёрова М.М., Давлатова С.Х. Первоначальная оценка точности смещения оси водомерной рейки гидрологического поста “Туямуйн” // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2024. №. 3-4. С. 114-122.

For citation:

Mirmakhmudov E., Adambaev A., Baxtiyorova M., Davlatova S. (2024), Initial accuracy of deviation of the axis of the level gauge rail of the hydrological post “Tuyamuyn”, *Central Asian Journal of Geographical Research*, No. 3-4, pp. 114-122. (In Russ.).