

УДК: 004:004.9:912.43:528.94:556:574:502:504

DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-719-736

П.С. Дмитриев¹, Я.А. Вендт², С.А. Тесленок³, А.М. Носонов⁴, И.А. Фомин⁵,
А.П. Муштайкин⁶, С.К. Илькаев⁷

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИЗУЧЕНИИ КАРТОМЕТРИЧЕСКИХ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОЗЕР СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

АННОТАЦИЯ

Исследование посвящено определению возможностей использования геоинформационных систем и технологий для организации и осуществления геоэкологических мониторинговых обследований озер на территории одного из крупнейших в пределах Казахстана озерных регионов – Северо-Казахстанской области. Была практически решена важная задача создания единого электронного каталога озер исследуемой территории и размещения в свободном открытом доступе. Изученный количественный и качественный состав топографических, картометрических, морфометрических, гидрологических, гидрохимических, гидробиологических, геоэкологических и других данных по озерам области позволил использовать в каталоге ряд картометрических и морфометрических показателей, единых для всех площадных водоемов. Для каждого из таких показателей определялся фиксированный набор значений, содержащих сведения о различных аспектах их состояния. В процессе описания и характеристики озер в качестве основных показателей были приняты такие их параметры, как длина, ширина, средняя и максимальная глубины, особенности рельефа дна и его профили, протяженности береговой линии и огибающей, степень изрезанности береговой линии, площади водоема и водосбора, объем водной массы, степень зарастания высшей надводной растительностью и другие. На основе анализа базы данных озер, созданной в приложении Microsoft Excel и программном продукте настольной ГИС цифрового картографирования MapInfo Professional, была подготовлена серия геоинформационно-картографических материалов, в частности картосхем, позволяющих оперативно получать необходимые картометрические

¹ Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Факультет математики и естественных наук, ул. Пушкина, 86, 150000, Петропавловск, Казахстан; *e-mail*: dmitriev_pavel@mail.ru

² Гданьский университет, Институт социально-экономической географии и территориального управления, Факультет социальных наук, ул. Яна Бажиньского, 4, 80-952, Гданьск, Польша; *e-mail*: jan.wendt@ug.edu.pl

³ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, Географический факультет, ул. Большевицкая, д. 68, 430005, Саранск, Россия; *e-mail*: teslserg@mail.ru

⁴ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, Географический факультет, ул. Большевицкая, д. 68, 430005, Саранск, Россия; *e-mail*: artno@mail.ru

⁵ Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Факультет математики и естественных наук, ул. Пушкина, 86, 150000, Петропавловск, Казахстан; *e-mail*: iafomin@mail.ru

⁶ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, Географический факультет, ул. Большевицкая, д. 68, 430005, Саранск, Россия; *e-mail*: anton169@mail.ru

⁷ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, Географический факультет, ул. Большевицкая, д. 68, 430005, Саранск, Россия; *e-mail*: ilkaev97@yandex.ru

и морфометрических показатели и геоэкологические характеристики крупных озер исследуемого региона. Таким образом, посредством использования потенциала графической визуализации информации специализированной региональной ГИС в программной оболочке MapInfo наглядно проиллюстрированы возможности графического представления традиционных статистических данных качественных и количественных картометрических и морфометрических характеристик озер. Результаты проведенной работы, полученные геоинформационно-картографические материалы и значительные объемы накопленной в базах данных специализированной региональной ГИС информации, позволяют организовать и осуществлять комплекс полномасштабных мониторинговых исследований озер по большому набору показателей, что не только актуально и позволяет отслеживать современное состояние озерных экосистем в пределах территории региона, но и выявлять их динамику.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геоинформационные системы, геоинформационные технологии, озера, морфометрические и картометрические показатели, степень зарастания озер

Pavel S. Dmitriyev¹, Jan A. Wendt², Sergey A. Teslenok³, Arthur M. Nosonov⁴, Ivan A. Fomin⁵, Anton P. Mushtaykin⁶, Samat K. Ilkaev⁷

USE OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF CARTOMETRIC AND MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF LAKES IN THE NORTH KAZAKHSTAN

ABSTRACT

The study is devoted to determining the possibilities of using geoinformation systems and technologies for organizing and implementing geoecological monitoring surveys of lakes in the territory of one of the largest lake regions within Kazakhstan – the North Kazakhstan region. The important task of creating a unified electronic catalog of lakes in the study area and placing it in free open access was practically solved. The studied quantitative and qualitative composition of topographic, cartometric, morphometric, hydrological, hydrochemical, hydrobiological, geoecological and other data on the lakes of the region made it possible to use in the catalog a number of cartometric and morphometric indicators common for all areal water bodies. For each of these indicators, a fixed set of values was determined containing information about various aspects

¹ Kozybayev University, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Pushkin str., 86, 150000, Petropavlovsk, Kazakhstan; *e-mail*: dmitriev_pavel@mail.ru

² University of Gdańsk, Institute of Socio-Economic Geography and Spatial Management, Faculty of Social Sciences, Jan Bazzynski str., 4, 80-952, Gdańsk, Poland; *e-mail*: jan.wendt@ug.edu.pl

³ National Research Ogarev Mordovia State University, Bolshevistskaya str., 68, 430005, Saransk, Republic of Mordovia, Russia; *e-mail*: teslserg@mail.ru

⁴ National Research Ogarev Mordovia State University, Bolshevistskaya str., 68, 430005, Saransk, Republic of Mordovia, Russia; *e-mail*: artno@mail.ru

⁵ Kozybayev University, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Pushkin str., 86, 150000, Petropavlovsk, Kazakhstan; *e-mail*: iafomin@mail.ru

⁶ National Research Ogarev Mordovia State University, Bolshevistskaya str., 68, 430005, Saransk, Republic of Mordovia, Russia; *e-mail*: anton169@mail.ru

⁷ National Research Ogarev Mordovia State University, Bolshevistskaya str., 68, 430005, Saransk, Republic of Mordovia, Russia; *e-mail*: ilkaev97@yandex.ru

of their state. In the procedure for describing and characterizing lakes, such parameters as their length, width, average and maximum depths, features of the bottom topography and its profiles, the length of the coastline and envelope, the degree of indentation of the coastline, the area of the reservoir and catchment area, the volume water mass, the degree of overgrowth of higher emerged vegetation, and others. Based on the analysis of the database of lakes created in Microsoft Excel application and desktop GIS digital mapping software product MapInfo Professional, a series of geoinformation and cartographic materials was prepared, in particular, maps that allow you to quickly obtain the necessary cartometric and morphometric indicators and geocological characteristics of large lakes in the study region. Thus, by using the potential of graphical visualization of information from a specialized regional GIS in the MapInfo software shell, the possibilities of graphical representation of traditional statistical data of qualitative and quantitative cartometric and morphometric characteristics of lakes are clearly illustrated. The results of the work carried out, the obtained geoinformation and cartographic materials and significant amounts of information accumulated in databases of specialized regional GIS make it possible to organize and carry out a complex of full-scale monitoring studies of lakes for a large set of indicators, which is not only relevant and allows you to track the current state, but also to identify the dynamics of lake ecosystems within the territory of the region.

KEYWORDS: geoinformation systems, geoinformation technologies, lakes, morphometric and cartometric indicators, degree of overgrowth of lakes

ВВЕДЕНИЕ

Географические информационные системы (геоинформационные системы, ГИС) и соответствующие им геоинформационные и смежные технологии являются одной из самых современных и перспективных составляющих комплекса компьютерных технологий, предназначенных для выявления, фиксации, картографирования и анализа самых разнообразных объектов, явлений и процессов реального мира нашей планеты, имеющих пространственную привязку. Этот элемент комплекса компьютерных технологий объединяет традиционные операции проектирования, создания и полноценной работы с базами и банками данных на основе запросов к ним и статистического анализа количественных атрибутивных данных, со всеми преимуществами полноценной графической визуализации информации и географического (пространственного) анализа, предоставляемыми геоинформационно-картографическими материалами [Тесленок, 2010; Тесленок, Тесленок, 2012; Бейсенова и др., 2016]. Все современные ГИС в рамках созданного геоинформационного проекта [Тесленок, 2015] позволяют разными способами собирать и интегрировать пространственную и атрибутивную информацию из разных источников, создавать на этой основе базы и банки данных с выполнением функций ввода, хранения, обработки, преобразования и выдачи по запросам пользователей разноплановой информации в компьютерных системах. Причем визуализация хранящейся в базах данных информации [Белецкая, 2004] чаще всего осуществляется в картографической форме¹ [Берлянт, 1978; Справочник..., 1978; Картоведение, 2003; Бейсенова и др., 2016], а также в виде таблиц, графиков, текстов.

¹ Тесленок С.А. Использование карт. Электронный ресурс. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2021. 2,66 Мб. Режим доступа: http://openedo.mrsu.ru/pluginfile.php/130240/mod_resource/content/1/Использование%20карт.pdf (дата обращения 04.01.2022).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Использование потенциала графической визуализации информации специализированной региональной ГИС наглядно иллюстрирует возможности графического представления традиционных статистических данных качественных и количественных картометрических и морфометрических характеристик озер. Определяющая роль морфометрии и морфологии котловины озера в лимнических процессах была выявлена еще в начале прошлого столетия [Верещагин, 1930]. Детальный критический анализ результатов более чем 120 научных исследований данной тематики, выполненных специалистами разных отраслей, определяющий значимость морфометрической стандартизации применительно к лимнологическим исследованиям, представлен чуть позже, в середине XX в. [Муравейский, 1948]. Далее этот подход был успешно развит многими последователями [Иванов, 1948; Hutchinson, 1957; Григорьев, 1959; Богословский, 1960; Зайков, 1960; Россолимо, 1964; Якушко, 1975; Севастьянов, 1993; Сорокин, 1993; Белецкая, 2004; Шигапов и др., 2011; Эдельштейн, 2017]. Именно морфометрия, понимаемая, прежде всего, как совокупность методов определения и количественного выражения размеров и формы площадных водоемов на основе крупномасштабных картографических материалов и данных дистанционного зондирования высокого пространственного разрешения, давно признана одним из центральных, базовых разделов озероведения. Все морфометрические характеристики озер могут быть разделены на две группы: их параметры (абсолютные размеры) и показатели формы.

Полученные результаты (геоинформационно-картографические материалы) и значительные объемы накопленной в базах данных специализированной региональной ГИС информации позволяют организовать и осуществлять комплекс полномасштабных мониторинговых исследований озер по большому набору показателей, что не только актуально и позволяет отслеживать современное состояние, но и выявлять динамику озерных экосистем в пределах территории региона. Подобные исследования крайне важны и необходимы, особенно учитывая взаимосвязь и взаимообусловленность ландшафтных условий и закономерностей формирования озерных экосистем, их морфометрических и эколимнологических характеристик, хода перестройки под влиянием антропогенных воздействий [Hubert, 2000; Белецкая, 2004; Тесленок, Тесленок, 2012; Ломакина, 2020]. Высказывание Л.С. Берга о том, что «ландшафты не есть нечто неизменное во времени, понять данный ландшафт можно лишь тогда, когда известно, как он произошел и во что со временем превратился» [Берг, 1947, с. 21] в полной мере относится как непосредственно к озерным, так и к генетически с ними связанным окружающим ландшафтам их водосборов, образующим сложную единую систему взаимодействия.

Специфическими особенностями геосистем региона Северо-Казахстанской области (СКО) является наличие ярко выраженных холмистых и грядовых форм рельефа, развитых на древних осадочных и изверженных породах, чередующихся со сравнительно выложенными участками, приуроченными к древним и современным долинам рек и озерным котловинам с преобладанием элювиальных и делювиальных рыхлых отложений, широко распространенных лессовидных отложений, перекрывающих коренные породы отложений древней коры выветривания, мощных скоплений речного супесчаного и песчано-галечного аллювия в долинах рек бассейна р. Ишим.

Формирование озерных котловин как важной составной части общего рельефа территории является результатом процессов, определяющих ландшафтные особенности в целом. Поэтому для понимания морфологии, особенностей размещения и происхождения озер необходимо и крайне важно рассматривать общие условия развития окружающих их ландшафтов, выявляя при этом ведущие механизмы формирования озерных котловин.

Необходимо также учитывать и то, что озерные котловины – качественно особые формы рельефа, морфология, размеры, эволюция и история развития которых находится в прямой зависимости от деятельности наполняющей их вод, объем и уровень которых, в свою очередь, определяются общеклиматическими зональными условиями и региональными особенностями ландшафтов водосборов [Водопьянова, 1979; Белецкая, 1987]. Таким образом, региональные особенности вмещающего ландшафта и история его развития напрямую связаны с морфометрическими показателями озер. Исходя из этого, можно констатировать, что исторический метод познания окружающей среды – важный и необходимый инструмент изучения динамики природных процессов [Белецкая, 2004]. С генезисом озерных котловин тесно связаны показатели размеров и форма водоемов, а следовательно – и их источники питания, водный режим, качество воды, процессы зарастания и т. п. Такая взаимообусловленность устанавливается по характеру рельефа территории, особенностям ее геологического строения и истории формирования бассейнов. Именно эти признаки положены в основу различных классификаций озер.

В формировании подавляющего большинства озерных котловин участвует несколько факторов, поэтому генетическая классификация базируется на их выявлении, с выделением фактора, преобладающего в создании каждой котловины в отдельности. Котловина, возникшая под воздействием одного фактора, в дальнейшем может быть видоизменена действием других.

А.С. Кесь признавала неубедительными доводы авторов, полагающих, что эти котловины – остатки нижнетретичного моря, справедливо считая, что они должны были быть погребены более поздними отложениями. Она указывала, что крупные впадины предгорной зоны Казахского мелкосопочника являются междельтовыми понижениями, участками, не подвергшимися аккумуляции наносов древних речных потоков [Кесь, 1935]. К.Н. Пестовский так же высказался против представлений о реликтовом происхождении озер, в то же время делая вывод о том, что они возникли из «первоначальных» впадин, оставшихся на месте обширного верхнеплиоценового бассейна путем последующего их углубления на протяжении четвертичного периода. Углубление могло происходить во влажные периоды за счет выщелачивания гипсоносных и засоленных нижележащих пород с последующей их просадкой, а в сухие – выдуванием ветром мелкозернистых частиц с осушенных донных поверхностей, не закрепленных растительностью [Пестовский, 1936]. В генетической классификации озерных котловин южных равнин Западной Сибири, предложенной Я.С. Эдельштейном, котловины озер северной части рассматриваемой территории выделены в особую группу, происхождение которых автор считал невыясненным, предполагая, что в их формировании значительную роль сыграли процессы выщелачивания солей, ведущие к оседанию и уплотнению пород [Эдельштейн, 1936]. Е.Н. Посохов признает несостоятельной точку зрения об эоловом пути образования котловин тенизов (крупных озер региона, расположенных вдоль северо-восточного склона Казахского щита и характеризующихся огромными площадями при крайне незначительных глубинах, и при этом – сравнительно глубокой врезанностью котловин относительно общей поверхности равнины), предполагая, что они образовались эрозионным путем и представляют собой остатки древнего огромного потока, позже переработанные денудационными процессами, среди которых главная роль принадлежит дефляционным [Посохов, 1949].

Обобщение материалов по геологическому строению, геоморфологическим особенностям территории позволило предложить генетическую классификацию озерных котловин СКО [Белецкая, 1987]. Тектонические представлены впадинами-грабенами, как результатом разрывных тектонических движений, проявившихся в прибортовых структурах Западно-Сибирской плиты на неотектоническом этапе развития (озера Бол. Тарангул,

Имантау, Кишикаррой, Лобаново, Менгисер (Менгисор), Силетытениз, Становое, Теке, Улькенкаррой, Шалкар (Челкар) и др.); впадинами-мульдами, образовавшимися вследствие медленных колебательных движений без разрыва сплошности горных пород (*Шаглытениз, Шелегино и др.*). *Гидрогенные* котловины, являющиеся следствием деятельности текучих вод, включают группы пойменных (старицы-меандры, старицы-протоки, межгрядные, вторичные пойменные) (многочисленные озера поймы р. Ишим, в т. ч. котловина оз. Пестрое у г. Петропавловска); надпойменных террас долины р. Ишим (котловины озер Алва (Алуа), Горькое, Кендыкты, Лебяжье, Никульских, Полковниково, Скопино и др.); долин исчезнувших рек (Камышловки – Балыкты, Бараново, Бозарал, Жиланды, Питное, Половинное, Талдыарал, Улькенжарма, Камышлово, Соленое и др.; Суери – Питное, Семилово и др.; Казака; Емца). Озерные впадины *котловинно-холмисто-грядного рельефа* – многочисленная группа, образовавшаяся в процессе формирования соответствующего рельефа на дне приледникового мелководного бассейна [Воскресенский, 1968; Овчинников, 1970; Белецкая, 1979]. *Остаточные* – единичные, сохранившиеся от бывших более крупных водоемов. *Суффозионно-просадочные* – наиболее мелководные «степные блюдца», в основном пересыхающие летом. *Эоловые* – мелководные, выработанные в песчаных и супесчаных субстратах. *Термокарстовые* – мелководные, которые могли возникнуть в ледниковый период при таянии мерзлого грунта или ледяных линз и были сильно преобразованы последующими рельефообразующими процессами.

В регионе преобладают замкнутые котловины и озера преимущественно бессточные, в связи с чем их бассейновые системы очень чувствительны к геокомпонентным изменениям окружающей среды, особенно – гидрологического режима, в связи с сельскохозяйственным (преимущественно земледельческим) и мелиоративным природопользованием (в пределах как их акваторий, так и водосборных территорий) и глобальными изменениями климата. В этом случае трансформации морфометрических характеристик озер тесно связаны с природной и антропогенной динамикой ландшафтов региона, прежде всего – в ходе их хозяйственного освоения. Степень их антропогенной освоенности и преобразованности чрезвычайно высока, сельскохозяйственные ландшафты абсолютно преобладают на территории СКО, занимая ее подавляющую часть – 87 % [Пашков и др., 2021].

Таким образом, осуществление количественных оценок параметров озерных систем и их анализ позволяют прогнозировать потенциальные экологические риски и угрозы природного и антропогенного характера. В связи с этим для выполнения работы по организации и осуществлению мониторинга озер на территории одного из крупнейших в пределах Казахстана озерных регионов, были запланированы разработка, создание и дальнейшее использование геоинформационно-картографических материалов, полученных в рамках геоинформационного проекта [Тесленок, 2015] с помощью компьютерной программы для разработки ГИС MapInfo Professional. Данное программное обеспечение имеет значительное распространение и широко используется в самых различных отраслях (в том числе и для решения задач охраны окружающей среды), представляя собой не только систему настольной картографии, но и полноценную географическую информационную систему с развитым функционалом (особенно в случае использования возможностей дополнительных утилит). Программное обеспечение позволяет в полной мере решать задачи пространственного анализа и сопутствующие им задачи, имеющие разный уровень сложности (анализ особенностей местоположения, районирование и классификация, связь с удаленными базами данных, интеграция географических объектов в наборы данных и другие приложения, тематическое картографирование, выявление динамики, тенденций и закономерностей распределения данных в географическом пространстве и многие другие) [Hubert, 2000; Митчел, 2000; MapInfo..., 2004; Ломакина, 2020].

Сложная единая система взаимодействия таких имеющих повсеместное распространение пространственных объектов, как озера и их водосборы¹ [Севастьянов, 1993; Белецкая, 2004; Тесленок, 2010; Тесленок, Тесленок, 2012; Nazarova et al., 2020], является важнейшим объектом хозяйственного, питьевого, рекреационного и другого использования, а также планирования, организации и осуществления системы геоэкологического мониторинга [Белецкая, 2004; Ломакина, 2020; Тесленок, Тесленок, 2012; Kabiyeu et al., 2018]. Таким образом, значимыми и перспективными задачами являются разработка и создание единого каталога озер, включающего систематизированные стандартизированные данные, имеющего открытый доступ и предназначенного для целей общего пользования. При этом большое практическое значение имеет изучение именно картометрических и морфометрических показателей² [Верецагин, 1930; Муравейский, 1948; Григорьев, 1959; Овчинников, 1960; Берлянт, 1978; Белецкая и др., 2008; Справочник..., 1978; Картоведение, 2003; Тесленок, 2010; Тесленок, Тесленок, 2012; Эдельштейн, 2017] озер СКО, применение которых не ограничивается аспектом лишь традиционного сельскохозяйственного водоснабжения. Оно оказывается тесно связанным с получением и экономическим (хозяйственным и курортно-рекреационным) использованием [Hubert, 2000; Эдельштейн, 2017; Nazarova et al., 2019; Dmitriyev et al., 2021] озерных ресурсов: сырья для химической и пищевой промышленности в виде солей самосадочных озер, разнообразных донных отложений (лечебных грязей, илов, сапропелей), добычей рыбы, дичи, водных и околоводных пушных зверей и других биологических ресурсов и т. п. При этом важную роль играет совершенствование методов оценки озерных ресурсов в условиях разных режимов природного и антропогенного воздействия на новой основе – с использованием возможностей современных ГИС, геоинформационных и смежных технологий. И здесь неопределимо значение практического решения задачи создания единого электронного каталога озер СКО в свободном открытом доступе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В разработанном и созданном каталоге был использован стандартизированный набор количественных и качественных измеряемых или вычисляемых картометрических и морфометрических показателей [Муравейский, 1948; Берлянт, 1978; Справочник..., 1978; Картоведение, 2003; Белецкая, 2004; Тесленок, 2010; Тесленок, Тесленок, 2012], единых для всех озер. При этом для количественных показателей выбирались соответствующие общие для всех однотипных объектов и показателей единицы измерения (или приводились к ним), для каждого из качественных – определялся фиксированный набор значений сведений о различных аспектах современного геоэкологического состояния озер и их интервалы.

При осуществлении процедуры описания и характеристики площадных водных объектов в качестве основных показателей были приняты такие их характеристики, как длина, ширина, средняя и максимальная глубины, особенности рельефа дна и его профили, протяженности береговой линии и огибающей, степень изрезанности береговой линии, площади водоема и водосбора, объем водной массы и другие [Филонев, Омаров, 1974; Тесленок, 2010; Тесленок, Тесленок, 2012].

¹ Ландшафт как пятимерная парадинамическая геосистема. Электронный ресурс. Vuzlit.com. Режим доступа: https://vuzlit.com/1070795/landshaft_pyatimernaya_paradinamicheskaya_geosistema (дата обращения 04.01.2022).

² Тесленок С.А. Использование карт. Электронный ресурс. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2021. 2,66 Мб. Режим доступа: http://openedo.mrsu.ru/pluginfile.php/130240/mod_resource/content/1/Использование%20карт.pdf (дата обращения 04.01.2022).

Одним из важнейших количественных показателей являются *координаты*, позволяющие определить для того или иного озера не только его точное географическое положение и его особенности, расположение географического центра озера или любой точки на его акватории, но и многие природно-экологические особенности.

Длина и ширина озера – существенные морфометрические показатели количественной характеристики озер, позволяющие определить площадь водного зеркала, длину береговой линии, объем водной массы и многие другие производные показатели. *Длина озера L* (км) определяется как кратчайшее расстояние между двумя наиболее удаленными друг от друга точками береговой линии площадного водоема, измеренное по его уровенной (водной) поверхности (как правило, по прямой). *Средняя ширина V_{cp}* (км) может быть определена как частное от деления площади водного зеркала озера F на его длину; *максимальная (наибольшая) ширина V_{max}* (км) – наибольшее расстояние между берегами (наибольшая длина линии) в направлении, перпендикулярном к линии измеренной длины водоема.

Длина береговой линии (длина нулевой изобаты, или линии уреза воды) l_0 (км) определяется картографическим методом – вычислением протяженности горизонтали уреза воды (нулевой изобаты). Другими словами – это длина границы между сушей и водной поверхностью, измеряемая либо непосредственно на объекте (редко), либо – как результат картометрических работ, выполненных по картографическим материалам, аэрофото- или космоснимкам. Оценка протяженности береговой линии динамичных по площади озер с неустойчивым уровенным режимом, характерных для ландшафтных условий СКО, основана на использовании разновременных картографических материалов. Кроме того, значительная протяженность и/или существенная колеблемость береговой линии озер обуславливает особую важность и актуальность применения дистанционных методов (основанных, прежде всего, на использовании космических снимков) и ГИС для изучения динамики береговой зоны и береговых процессов, а также количественной оценки изменения протяженности береговой линии и площади береговой зоны. В этом случае четко выявляется роль водосборных территорий и определяется значение их состояния и его влияние на изменение морфометрических характеристик озер. В первую тройку озер с наибольшей протяженностью береговой линии, превосходящей или близкой к 100 км, в регионе входят такие водоемы, как Селетытениз (420,3 км), Теке (155 км) и Шагалалытениз (95 км). Конфигурация и плановые очертания береговой линии озера определяются формой впадины (озерной котловины), в которой оно находится, особенностями устьев впадающих в него рек [Шнитников, 1975] и результатами преобразовательной антропогенной деятельности в пределах ландшафтов водосборных площадей. *Длина огибающей (l_0)* – кратчайшая выпуклая линия, проведенная по контуру площадного водоема, определяется так же, как и l_0 . *Изрезанность (развитие) береговой линии* является морфометрическим показателем, характеризует степень неправильности очертаний берегов (их отличия – приближенности или удаленности – от формы круга) и определяется как отношение длины береговой линии озера к длине окружности круга, с площадью, равной площади анализируемого полигонального объекта. Так же показатель развития береговой линии может быть определен соответствующими формулами [Муравейский, 1948; Липин, 1950; Справочник..., 1978]. Следует заметить, что указанная выше работа [Муравейский, 1948] абсолютно справедливо признана первой работой по математическому моделированию в географии и лимнологии.

К числу основных количественных показателей озер относят их *площадь S_0* – морфометрический показатель, характеризующий размер анализируемого объекта [Бейсенова и др., 2016]. Вычисляется по результатам картометрического анализа. В качестве единицы

измерения площади были приняты квадратные километры, поскольку именно они наиболее часто используются для работы с площадными объектами в различных ГИС, хотя последние и имеют возможности настройки и использования большого количества других. Чаще всего в существующих классификациях озера по размерам акватории разделяют малые (менее 10 км²), средние (от 10 до 100 км²); большие (от 101 до 1 000 км²) и очень большие (более 1000 км²). По таким основаниям классификации все озера области будут отнесены к группе малых. Согласно одной из классификаций площади акватории озер южных равнин Западной Сибири, подавляющая часть озер региона может быть отнесена преимущественно к категории очень малых (с размерами акватории менее 1 км²) [Водопьянова, 1979].

Одной из важных количественных площадных характеристик, определенных и рассмотренных более детально и подробно, с выявлением экстремумов (минимальных и максимальных значений), является *площадь водного зеркала озера*. Площадь поверхности (зеркала) озера (*площадь акватории*) F (км²) – это площадь водной поверхности S_0 без учета островов в пределах акватории. Площадь «среднего» для ландшафтных условий подзон южной (типичной) и колочной лесостепи СКО озера (на долю которых в общем приходится до 10 % всего их количества) составляет около 2 км². В целом показатели площади озер в пределах региона варьируют очень значительно – от сотен квадратных километров до всего лишь нескольких гектаров. Наиболее крупными являются озера, площадь которых превышает 100 км²: Селетытениз (777 км²), Улькенкарой (305 км²), Шагалалытениз (267,4 км²), Теке (265 км²), Кишикарой (102 км²), а так же Имантау (48,9 км²), Бол. Тарангул (40,0 км²), Менгисер (Менгисор) (36,8 км²) [Овчинников, 1960; Филонец, Омаров, 1974; Шнитников, 1975]. Географически все самые большие по размерам акватории озера приурочены к восточной части региона.

Под *коэффициентом озерности (озерностью, заозеренностью, аквальностью)* понимается отношение суммарной площади зеркала озер к общей площади территории, на которой они расположены, выраженное в процентах. Этот количественный показатель был назван плотностью озер (озерных котловин) [Берлянт, 1978; Справочник..., 1978]. Для территории СКО озерность – самая высокая в пределах Республики Казахстан – около 3,6 % [Филонец, Омаров, 1974; Dmitriyev et al., 2021]. Наибольшие ее показатели в пределах области отмечаются в районах: Уалихановском – 8,23 %, Акжарском – 5,55 % и Жамбылском – 5,54 %. В пригородной зоне административного центра области – г. Петропавловска – 6,5 %. Для сравнения: озерность Финляндии составляет 9,4 %, а у самой «озерной» страны мира Канады доходит до 10 %. При этом нужно учитывать относительность данного сравнения, его погрешности, имея в виду существенное превосходство в площади и более разнообразные ландшафтные условия указанных стран. Озерность ниже средней по региону отмечена в районах Аккайнском, М. Жумабаева и Г. Мусрепова, и этот показатель изменяется от 1,26 до 1,88 % (при средней на планете величине в 1,4 %). По результатам лимнологических исследований середины 70-х годов прошлого века (1974 г.) в границах области находилось около 4600 озер общей площадью 4800 км². Средняя величина показателя коэффициента плотности озер составляла 3,9 %, средняя частота встречаемости – 3,7 на каждые 100 км² [Филонец, Омаров, 1974; Шнитников, 1975]. За прошедший со времени предыдущих работ период показатель коэффициента плотности сократился на 0,3 %, что может быть объяснено неустойчивым уровнем режимом озер [Nazarova et al., 2019; Dmitriyev et al., 2021] в условиях прогрессирующего действия процессов глобального потепления климата, четко проявляющихся и в анализируемом регионе.

Тот факт, что озера с их водосборами являются одним из типичных примеров единой пятимерной парадинамической геосистемы¹, определяет, что огромную роль в формировании особенностей озерных экосистем играют их водосборы [Тесленок, 2010; Тесленок, Тесленок, 2012]. Поэтому *показатель площади водосбора* $S_{\text{вод}}$ так же является одной из важнейших количественных характеристик озер и результатом картометрического анализа. Площадь озерных водосборов области обычно в 3–4 раза превышает площадь самих озер. Показатель *площади озера* (K) представляет собой соотношение площадей озера S_o и его водосбора $S_{\text{вод}}$.

На основе данных ранее выполненных научных исследований, литературных и интернет-источников [Белецкая и др., 2008; Nazarova et al., 2019], нами был рассчитан безразмерный показатель *удельного водосбора* ΔF , определяемый как отношение площади водосбора озера $S_{\text{вод}}$ к площади его зеркала S_o , являющийся обратным показателю площади. Для озер СКО его величина в среднем составляет 5–7 (водоемы с малым водосбором), а наибольшие показатели представлены у озер Копя (380 – водоем с большим водосбором), Мал. Тарангул (32) и Кишикараой (20) (водоемы со средним водосбором).

Глубина – еще одна из следующих важнейших морфометрических характеристик озера, напрямую влияющая на его другие важнейшие морфометрические показатели, прежде всего, такие как объем воды, площадь зеркала, водосбор и другие. Используются разные показатели глубины: *максимальная* H_{max} (м), определяемая как результат непосредственных измерений по данным промеров лотом или использования водных беспилотников с ультразвуковыми одно- и многлучевыми эхолотами; *средняя* H_{cp} (м), высчитываемая как частное от деления объема водной массы (V) на площадь его зеркала (F) на основе картографического и расчетного способов. Средняя глубина может быть представлена и как среднее арифметическое множества измеренных глубин и как среднее геометрическое значение высоты цилиндра, равного по объему и площади изучаемому водоему. Важным производным показателем является отношение показателей средней и максимальной глубин $H_{\text{cp}}/H_{\text{max}}$ – показатель *емкости водоема*. Сопоставление глубин и площади (H_{cp}/S , H_{max}/S) свидетельствует о росте глубины с увеличением площади водного зеркала, но при этом отношение показателя емкости к площади озера снижается. По данным ряда литературных источников [Филоненко, Омаров, 1974; Белецкая и др., 2008; Nazarova et al., 2019; Nazarova et al., 2020], максимальная глубина озер на территории региона превышает 10 м, и такие значения отмечены для озер Жаксы-Жангызтау (18,5 м), Шалкар (15 м) и Имантау (10 м). По классификации коэффициента относительной глубины [Иванов, 1948] озера области относятся к очень мелким (0,1–0,5 м – 38 %), мелким (0,5–2,0 м – 61 %), нормальным (2,0–4,0 м – 1 %).

Степень зарастания озер высшей надводной растительностью различна и зависит от прозрачности, солености воды и особенностей донного грунта. Такой количественный морфометрический показатель используют для характеристики условий и уровня биологического и физического загрязнения, как одной из причин деградации (включая эвтрофикацию) озерных экосистем. Степень зарастания озера в данном исследовании выражена в процентах и определялась как отношение площади зарастания озера к площади его акватории. В исследованных районах СКО было отмечено 109 озер с определенной и зафиксированной степенью зарастания.

Перечисленные характеристики позволили создать в приложении Microsoft Excel для Microsoft Windows [Белецкая, 2004] и программном продукте MapInfo Professional

¹ Ландшафт как пятимерная парадинамическая геосистема. Электронный ресурс: Vuzlit.com. Режим доступа: https://vuzlit.com/1070795/landshaft_pyatimernaya_paradinamicheskaya_geosistema (дата обращения 04.01.2022).

единую базу данных озер, а на основе ее анализа – создать серию картосхем. В качестве примера на рисунке 1 приведена картосхема распределения озер в пределах административных районов исследуемой территории, на рисунке 2 – пример визуализации информации базы данных «Морфометрические показатели крупных озер СКО», позволяющая оперативно получать необходимые характеристики морфометрических показателей озер изучаемого региона.

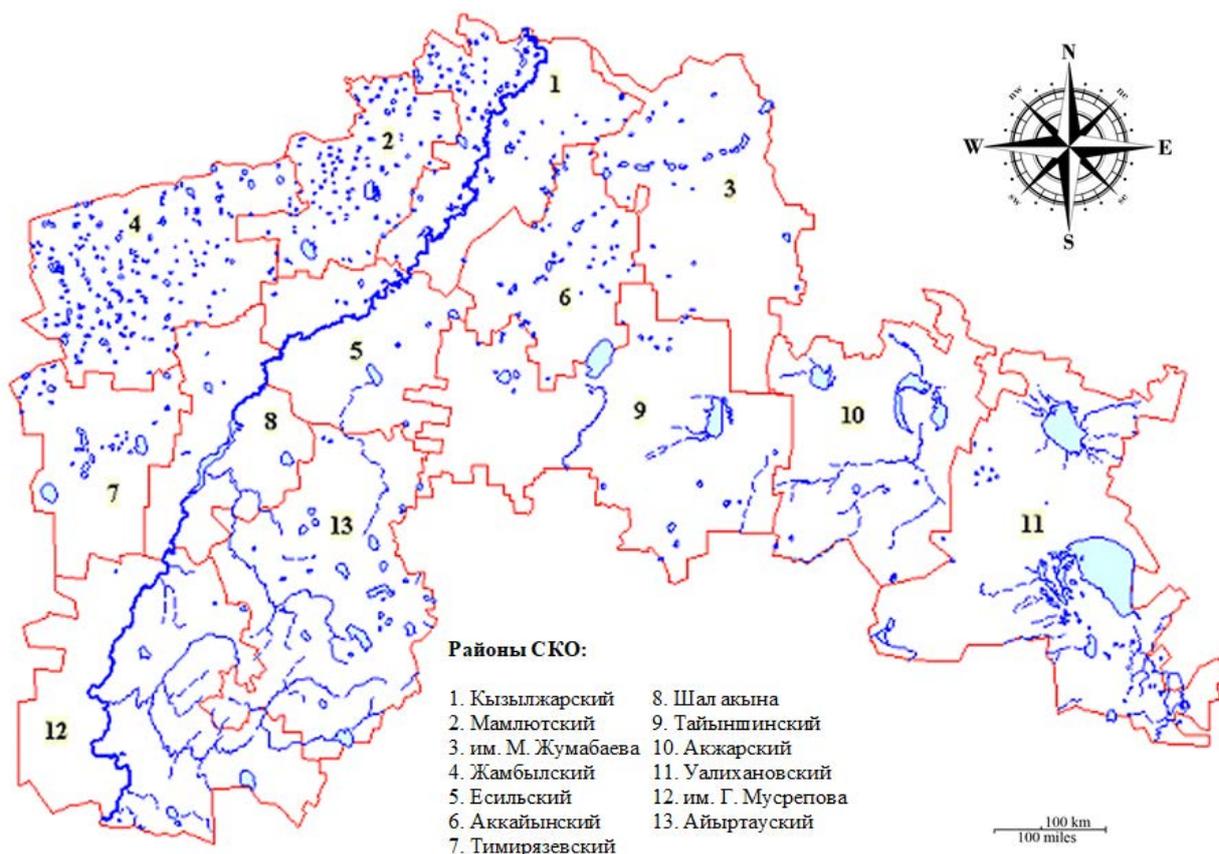


Рис. 1. Картосхема «Распределение крупных озер в пределах административных районов СКО»

Fig. 1. Map “Distribution of large lakes within the administrative districts of the North Kazakhstan region”

Результаты использования графоаналитических приемов – картометрические и морфометрические показатели озер – напрямую связаны с количественными оценками и анализом динамики изменений формы озера и отдельных составных элементов его акватории. Основные показатели картометрии и морфометрии озера характеризуют его поверхность (характеристики длины, ширины, площади зеркала котловины, длины и изрезанности береговой линии, размеры островов и т. п.), глубину, объемы всей водной массы и ее отдельных слоев. Таким образом, в результате исследований была спроектирована и создана специализированная база данных озер СКО в программе Microsoft Excel, включающая такие характеристики, как административная принадлежность (район области), название, местоположение, координаты (топография), площадь, длина береговой линии, гидрохимические показатели, тип, арендатор (в случае осуществления хозяйственной деятельности), площадь зарастания.



Рис. 2. Фрагмент картосхемы «Морфометрические показатели крупных озер СКО» – пример варианта визуализации информации базы данных по оз. Бол. Тарангул

Fig. 2. A fragment of the map “Morphometric indicators of large lakes in the North Kazakhstan region” is an example of a variant of visualizing information from the database on the lake Bolshoy Tarankol

Далее, используя созданный геоинформационный проект [Тесленок, 2015], картометрические и морфометрические количественные и качественные атрибутивные характеристики озер базы данных специализированной региональной ГИС, а также возможности графической визуализации программной ГИС-оболочки MapInfo Professional, была подготовлена серия геоинформационно-картографических материалов, некоторые примеры которых были упомянуты выше (см. рис. 1 и 2), а также детальные схемы каждого из изученных озер и их окрестностей (рис. 3).



Рис. 3. Схема озера Бол. Тарангули его окрестностей, полученная в MapInfo Professional

Fig. 3. Scheme of Bolshoy Tarankol Lake and its environs obtained in MapInfo Professional

ВЫВОДЫ

Результаты проведенной работы, полученные геоинформационно-картографические материалы и значительные объемы накопленной в базах данных специализированной региональной ГИС информации позволяют организовать и осуществлять комплекс полномасштабных мониторинговых исследований озер по большому набору показателей [Hubert, 2000; Белецкая, 2004; Тесленок, 2010; Тесленок, Тесленок, 2012; Kabiyeu et al., 2018; Ломакина, 2020], что является актуальным вопросом и позволит отслеживать современное состояние и выявлять динамику озерных экосистем в пределах территории СКО, а также регионов, находящихся в сходных ландшафтных условиях.

1. Изучен количественный и качественный состав топографических, картометрических, морфометрических, гидрологических, гидрохимических, гидробиологических, геоэкологических и других данных по озерам области. Это позволило получить комплекс мониторинговых материалов об особенностях пространственного распределения, а также о современном состоянии озер изучаемого региона.

2. Для обобщения и систематизации материалов о разнообразных показателях озер региона разработана и практически реализована база данных в приложении Microsoft Excel для Microsoft Windows, позволяющая характеризовать крупные озера СКО. Данный аспект является одним из наиболее актуальных, так как озера в условиях региона служат не только важным звеном гидрографической сети его территории, но и важнейшими источниками питьевого водоснабжения, средой обитания водоплавающих и околоводных птиц, рыб и других водных животных, как редких и исчезающих, так и имеющих промысловое значение, базой для товарного рыбного хозяйства и промыслового рыбоводства, охотничьих хозяйств, а также основой для развития туристической индустрии, рекреационного хозяйства и других видов природопользования.

3. Посредством использования потенциала графической визуализации информации специализированной региональной ГИС в программной оболочке MapInfo подготовлены геоинформационно-картографические материалы, наглядно иллюстрирующие возможности графического представления традиционных статистических данных в виде качественных и количественных картометрических и морфометрических характеристик озер.

Дальнейшие исследования могут быть ориентированы на выявление региональных ландшафтно-экологических зависимостей для озер разного генезиса, расположенных в других природно-климатических условиях, имеющих различные морфометрические характеристики. Перспективны более широкое распространение и повсеместное применение при лимнологических исследованиях комплекса современных полевых методов, разнообразных компьютерных программ статистической обработки и картографической визуализации значительных массивов накопленной в базах данных специализированных региональных ГИС информации с созданием трехмерных моделей рельефа дна озер и их водосборных бассейнов, глобальных навигационных спутниковых систем и методов спутникового пространственного позиционирования, данных дистанционного зондирования и аэрокосмических методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бейсенова А.С., Алиаскаров Д.Т., Салбырова М.Т. Эффективное использование технологий географических информационных систем (ГИС) в географическом образовании. *ScienceTime*, 2016. № 6. С. 45–50.
2. Белецкая Н.П. Этапы развития территории Петропавловского Приишимья в кайнозое. История развития речных долин и проблемы мелиорации земель. Западная Сибирь и Средняя Азия. Новосибирск: Наука, 1979. С. 38–51.
3. Белецкая Н.П., Христович М.В., Щербинина Е.Ю., Трошихин Н.В. Малые озера Северного Казахстана. Петропавловск: Климполиграфия, 2008. 93 с.
4. Белецкая Н.П. Генетическая классификация озерных котловин Западно-Сибирской равнины. *Геоморфология*. 1987. № 1. С. 50–58.
5. Белецкая Р.В. Морфометрические особенности озерных котловин и их влияние на экологическое состояние лимносистем (на примере равнинных озер ледникового происхождения): Дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2004. 183 с.
6. Берг Л.С. Климат и жизнь. М.: ОГИЗ, 1947. 356 с.
7. Берлянт А.М. Картографический метод исследования. М.: Изд-во МГУ, 1978. 256 с.
8. Богословский Б.Б. Озероведение. М.: МГУ, 1960. 335 с.
9. Верещагин Г.Ю. Методы морфометрической характеристики озер. Труды Олонецкой науч. экспедиции. Л., 1930. Ч. II. Вып. I. С. 3–114.
10. Водопьянова С.Г. Озера и палеодолины южных равнин Западной Сибири. История развития речных долин и проблемы мелиорации земель. Западная Сибирь и Средняя Азия. Новосибирск: Наука, 1979. С. 163–166.
11. Воскресенский С.С. Геоморфология СССР. М.: Высшая школа, 1968. 368 с.
12. Григорьев С.В. О некоторых определениях и показателях в озероведении. Тр. Карельск. фил. АН СССР. 1959. Вып. 18 (Материалы по гидрологии (лимнологии) Карелии). С. 29–45.
13. Зайков Б.Д. Очерки по озероведению. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 240 с.
14. Иванов П.В. Классификация озер мира по их величине и по средней глубине. Науч. бюл. Ленинград. ун-та. Л., 1948. № 21. С. 29–36.
15. Картоведение. Под ред. А.М. Берлянта. М.: Аспект Пресс, 2003. 477 с.
16. Кесь А.С. О генезисе котловин Западно-Сибирской равнины. Тр. Ин-та физ. географии. 1935. Вып. 15. С. 61–118.
17. Липин А.Н. Пресные воды и их жизнь. М.: Учпедгиз, 1950. 348 с.
18. Ломакина С.С. Геоэкологический мониторинг поверхностных вод Северного Казахстана с использованием дистанционных методов и ГИС-технологий: автореф. дис. .. канд. геогр. наук. Томск, 2020. 24 с.
19. Митчел Э. Руководство ESRI по ГИС-анализу. Ч. 1: Пространственные модели и взаимосвязи. Киев: ЗАО ЕСОММ Со; Стилос, 2000. 198 с.
20. Муравейский С.Д. Очерки по теории и методам морфометрии озер. Вопросы географии. Сб. 7. М.: Географгиз, 1948. С. 65–99.
21. Овчинников Г.Д. О состоянии озер Северо-Казахстанской области. Ученые записки ППИ. Петропавловск, 1960. Вып. 1. Ч. 1. С. 63–68.
22. Овчинников Г.Д. О строении грив в Северо-Казахстанской области. Изв. ВГО, 1970. Т. 102. Вып. 3. С. 293–294.
23. Пашков С.В., Мажитова Г.З., Тесленок С.А. Картографирование агроландшафтов колочной лесостепи на основе геоинформационных технологий и дистанционного зондирования Земли. *Географический вестник = Geographical bulletin*, 2021. № 1 (56). С. 162–172. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-1-162-172.

24. *Пестовский К.Н.* Геологическое строение окрестности озер Теке и Улькенкарой в Северном Казахстане. Л.-М.: Гл. ред. геол.- развед. и геодез. лит., 1936. 31 с.
25. *Посохов Е.В.* Тенизы Северного Казахстана. Изв. АН КазССР. Сер. геол., 1949. Вып. 10. С. 40–44.
26. *Россолимо Л.Л.* Основы типизации озер и лимнологического районирования. Накопление вещества в озерах. М.: Наука, 1964. С. 5–46.
27. *Севастьянов Д.В.* Геоэкологическая оценка современного состояния водоемов аридной зоны. СПб: СПбГУ, 1993. 88 с.
28. *Сорокин И.Н.* Роль морфологических и гидрологических показателей в классификации озер гумидной и аридной областей. Теоретические вопросы классификации озер. СПб: Наука, 1993. С. 88–98.
29. Справочник по картографии. Под ред. Е.И. Халугина. М.: Недра, 1988. 427 с.
30. *Тесленок К.С.* Создание геоинформационного проекта и его использование в целях развития хозяйственных систем. Геоинформационное картографирование в регионах России: материалы VII Всерос. науч.-практич. конф. (Воронеж, 10–12 дек. 2015 г.). Воронеж: Научная книга, 2015. С. 134–138.
31. *Тесленок С.А.* Аквальные комплексы в ГИС «Ландшафты Акмолинского Приишимья». География: проблемы науки и образования. Мат-лы ежегод. науч.-практ. конф. СПб., 2010. С. 417–422.
32. *Тесленок С.А., Тесленок К.С.* Мониторинг компонентов природной среды акватории водохранилищ на основе ГИС. Приоритетные направления экологической реабилитации Воронежского водохранилища: материалы междунар. науч.-практич. конф., г. Воронеж, 21 нояб. 2012 г. Воронеж: Наука-Юнипресс, 2012. С. 185–194.
33. *Филонец П.П., Омаров Т.Р.* Озера Северного, Западного и Восточного Казахстана. Справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 138 с.
34. *Шигапов И.С., Мингазова Н.М., Мусин А.Г.* Особенности морфологии котловин озер г. Казани. Вестник Татарского государственного гуманитарно-педагогического университета. Биологические науки. 2011. № 2 (24). С. 66–71.
35. *Шнитников А.В.* Из истории озер Северного Казахстана. Озера Казахстана и Киргизии и их история. Л.: Гидрометеиздат, 1975. С. 5–27.
36. *Эдельштейн К.К.* Лимнология. М.: Юрайт, 2017. 398 с.
37. *Эдельштейн Я.С.* Геоморфологический очерк Западно-Сибирской низменности. Труды Института физической географии. Сер. Геоморфологические очерки СССР. Вып. 20. № 2. М.-Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1936. 88 с.
38. *Якушко О.Ф.* Белорусское Поозерье. Минск: Вышэйшая школа, 1975. 335 с.
39. *Dmitriyev P.S., Wendt J.A., Fomin I.A., Nazarova T.V.* Transport accessibility of the lake ecosystems in the North Kazakhstan region as a factor of tourism development. GeoJournal of Tourism and Geosites. 2021. XIV. Vol. 35. No. 2. P. 289–296. DOI: 10.30892/gtg.35204-650, DOI: 10.30892/gtg.35204-650.
40. *Hubert B.* Wert der Geo-Information fuer Versicherungen. Geographic Information System. 2000. No. 13 (3). P. 13–15.
41. *Hutchinson G.A.* Treatise on Limnology. Geography, Physics and Chemistry. New York-London: Wiley, 1957. Vol. 1. 1015 p.
42. *Kabiyev Y.S., Berdenov Z.G., Kulchihan M.D., Atasoy E., Wendt J.A.* Landscape ecological analysis of the modern delta of the Ural (Zhayik) river. GeoJournal of Tourism and Geosites. 2018. Vol. 11. No. 3. P. 644–655.
43. MapInfo Professional. Руководство пользователя (полное). MapInfo Corporation. New York: Troy, 2004. 659 p.

44. *Nazarova T.V., Fomin I.A., Dmitriyev P.S., Wendt J.A.* Landscape and limnological research of lake systems of the plain areas of the northeastern borderlands of the Republic of Kazakhstan and assessment of their recreational capacity. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 2019. XII. Vol. 25. No. 2. P. 29–40. DOI: 10.30892/gtg.25203.
45. *Nazarova T.V., Janaleyeva G.M., Iliş D.C., Dmitriyev P.S., Berdenov Zh., Wendt J.A.* Research of water surface of lakes, plain territories of North Kazakhstan by using water indices, *Vestnik KazNRTU*. 2020. Vol. 137 (1). P. 27–32. DOI: 10.51301/vest.su.2020.v137.i1. 05.

REFERENCES

1. *Beisenova A.S., Aliskarov D.T., Salbyrova M.T.* Effective use of geographic information systems (GIS) technologies in geographical education. *Science Time*. 2016. No. 6. P. 45–50 (in Russian).
2. *Beletskaya N.P.* Stages of development of the territory of the Petropavlovsk Priishimye in the Cenozoic. The history of the development of river valleys and the problems of land reclamation. *Western Siberia and Central Asia*. Novosibirsk: Nauka, 1979. P. 38–51 (in Russian).
3. *Beletskaya N.P., Khristevich M.V., Shcherbinina E. Yu., Troshikhin N.V.* Small lakes of Northern Kazakhstan. *Petropavlovsk: Klim polygraphy*, 2008. 93 p. (in Russian).
4. *Beletskaya N.P.* Genetic classification of lake basins of the West Siberian Plain. *Geomorphology*. 1987. No. 1. P. 50–58 (in Russian).
5. *Beletskaya R.V.* Morphometric features of lake basins and their influence on the ecological state of limnosystems (on the example of flat lakes of glacial origin): Dissertation candidate of geographical sciences. St. Petersburg, 2004. 183 p. (in Russian).
6. *Berg L.S.* Climate and life. Moscow: OGIZ, 1947. 356 p. (in Russian).
7. *Berlyant A.M.* Cartographic research method. Moscow: Moscow University Press, 1978. 257 p. (in Russian).
8. *Bogoslovsky B.B.* Ozerovedenie. Moscow: Moscow State University, 1960. 335 p. (in Russian).
9. *Cartology: a textbook* edited by A.M. Berlyant. Moscow: Aspect Press, 2003. 477 p. (in Russian).
10. *Dmitriyev P.S., Wendt J.A., Fomin I.A., Nazarova T.V.* Transport accessibility of the lake ecosystems in the North Kazakhstan region as a factor of tourism development. *GeoJournal of Tourism and Geosites*. 2021. XIV. Vol. 35. No. 2. P. 289–296. DOI: 10.30892/gtg.35204-650.
11. *Edelstein K.K.* Limnology. Moscow: Yurayt, 2017. 398 p. (in Russian).
12. *Edelstein Ya.S.* Geomorphological sketch of the West Siberian lowland. *Proceedings of the Institute of Physical Geography. Ser. Geomorphological essays of the USSR*. Iss. 20. No. 2. Moscow-Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1936. 88 p. (in Russian).
13. *Filonets P.P., Omarov T.R.* Lakes of Northern, Western and Eastern Kazakhstan. *Handbook*. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1974. 138 p. (in Russian).
14. *Grigoriev S.V.* On some definitions and indicators in lake science. *Tr. Karelsk. phil. USSR Academy of Sciences*. 1959. Iss. 18 (Materials on Hydrology (limnology) of Karelia). P. 29–45 (in Russian).
15. *Handbook on Cartography: a textbook* edited by E. I. Khalugin. Moscow: Nedra, 1988. 427 p. (in Russian).
16. *Hubert B.* Wert der Geo-Information fuer Versicherungen. *Geographic Information System*. 2000. No. 13 (3). P. 13–15.
17. *Hutchinson G.A.* Treatise on Limnology. *Geography, Physics and Chemistry*. New York-London: Wiley, 1957. Vol. 1. 1015 p.

18. *Ivanov P.V.* Classification of lakes of the world by their size and average depth. Scientific bul. Leningrad. un-ta. Leningrad, 1948. No. 21. P. 29–36 (in Russian).
19. *Kabiyev Y.S., Berdenov Z.G., Kulchihan M.D., Atasoy E., Wendt J.A.* Landscape ecological analysis of the modern delta of the Ural (Zhayik) river. GeoJournal of Tourism and Geosites. 2018. Vol. 11. No. 3. P. 644–655.
20. *Kes A.S.* On the genesis of the basins of the West Siberian Plain. Tr. In-ta phys. Geography, 1935. Iss. 15. P. 61–118 (in Russian).
21. *Lipin A.N.* Fresh waters and their life. Moscow: Uchpedgiz, 1950. 348 p. (in Russian).
22. *Lomakina S.S.* Geocological monitoring of surface waters in Northern Kazakhstan using remote methods and GIS technologies: dissertation abstract. Candidate of geographical sciences. Tomsk, 2020. 24 p. (in Russian).
23. MapInfo Pro. User manual (complete). MapInfo Corporation. New York: Troy, 2004. 659 p.
24. *Mitchel E.* TheEsri Guide to GIS Analysis. Part 1. Spatial models and relationships. Kyiv: ECOMM Co; Stilos, 2000. 198 p. (in Russian).
25. *Muraveisky S.D.* Essays on the theory and methods of morphometry of lakes. Questions of geography. Sat. 7. Moscow: Geografiz, 1948. P. 65–99 (in Russian).
26. *Nazarova T.V., Fomin I.A., Dmitriyev P.S., Wendt J.A.* Landscape and limnological research of lake systems of the plain areas of the northeastern borderlands of the Republic of Kazakhstan and assessment of their recreational capacity. GeoJournal of Tourism and Geosites. 2019. XII. Vol. 25. No. 2. P. 29–40. DOI: 10.30892/gtg.25203.
27. *Nazarova T.V., Janaleyeva G.M., Ilieş D.C., Dmitriyev P.S., Berdenov Zh., Wendt J.A.* Research of water surface of lakes, plain territories of North Kazakhstan by using water indices, Vestnik KazNRTU. 2020. Vol. 137 (1). P. 27–32. DOI: 10.51301/vest.su.2020.v137.i1. 05.
28. *Ovchinnikov G.D.* On the state of the lakes of the North Kazakhstan region. Scientific notes PPI. Petropavlovsk, 1960. Iss. 1. Part 1. P. 63–68 (in Russian).
29. *Ovchinnikov G.D.* About the structure of manes in the North Kazakhstan region. Izv. VGO, 1970. Vol. 102. Iss. 3. P. 293–294 (in Russian).
30. *Pashkov S.V., Mazhitova G.Z., Teslenok S.A.* Mapping of agricultural landscapes of outlier forest steppe based on geoinformation technologies and remote sensing of the Earth. Geographical Bulletin. 2021. No. 1 (56). P. 162–172. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-1-162-172 (in Russian).
31. *Pestovsky K.N.* Geological structure of the vicinity of lakes Teke and Ulkenkaroy in Northern Kazakhstan. Leningrad-Moscow: Gl. ed. geol.-intelligence. and geodesic lit., 1936. 31 p. (in Russian).
32. *Posokhov E.V.* Tenizy of Northern Kazakhstan. Izv. of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR. Geol. series. 1949. Iss. 10. P. 40–44 (in Russian).
33. *Rossolimo L.L.* Basics of lake typification and limnological zoning. Accumulation of matter in lakes. Moscow: Nauka, 1964. P. 5–46 (in Russian).
34. *Sevastyanov D.V.* Geocological assessment of the current state of reservoirs of the arid zone. St. Petersburg: St. Petersburg State University, 1993. 88 p. (in Russian).
35. *Shigapov I.S., Mingazova N.M., Musin A.G.* Features of morphology of basins of lakes of Kazan. Bulletin of the Tatar State Humanitarian Pedagogical University. Biological sciences. 2011. No. 2 (24). P. 66–71 (in Russian).
36. *Shnitnikov A.V.* From the history of the lakes of Northern Kazakhstan. Lakes of Kazakhstan and Kyrgyzstan and their history. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1975. P. 5–27 (in Russian).
37. *Sorokin I.N.* The role of morphological and hydrological indicators in the classification of lakes of the humid and arid regions. Theoretical issues of classification of lakes. St. Petersburg: Nauka, 1993. P. 88–98 (in Russian).

38. *Teslenok K.S.* Creation of the geoinformation project and its use for the development of economic systems. Geoinformation mapping in the regions of Russia: materials of the VII All-Russian scientific-practical conference. (Voronezh, 10–12, December, 2015). Voronezh: Scientificbook, 2015. P. 134–138 (in Russian).
 39. *Teslenok S.A.* Aquatic complexes in the GIS “Landscapes of the Akmola Priishimye”. Geography: problems of science and education. Materials of the scientific and practical conference. St. Petersburg, 2010. P. 417–422 (in Russian).
 40. *Teslenok S.A., Teslenok K.S.* Monitoring of the components of the natural environment of the water area of reservoirs based on GIS. Priority areas for environmental rehabilitation of the Voronezh reservoir: materials of the scientific and practical conference. (Voronezh, 21, November, 2012). Voronezh: Science-Unipress, 2012. P. 185–194 (in Russian).
 41. *Vereshchagin G.Yu.* Methods of morphometric characteristics of lakes. The works of the Olonets Science expeditions. Leningrad, 1930. P. II. Iss. I. P. 3–114 (in Russian).
 42. *Vodopyanova S.G.* Lakes and paleodolines of the southern plains of Western Siberia. The history of the development of river valleys and the problems of land reclamation. Western Siberia and Central Asia. Novosibirsk: Nauka, 1979. P. 163–166 (in Russian).
 43. *Voskresensky S.S.* Geomorphology of the USSR. Moscow: Higher School, 1968. 368 p. (in Russian).
 44. *Yakushko O.F.* Belarusian Lake district. Minsk: Higher School, 1975. 335 p. (in Russian).
 45. *Zaikov B.D.* Essays on lake studies. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1960. 240 p. (in Russian).
-