



УДК 574:91:556.55(571.56-25)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.48.74>

Подходы к эколого-географической классификации городских озер (на примере г. Якутска)

А. А. Руфова*

Академия наук Республики Саха (Якутия), г. Якутск, Россия

Аннотация. Рассмотрен подход к эколого-географической классификации городских озер на примере одного из крупных городов северо-востока России – Якутска. Территория исследования относится к зоне распространения многолетнемерзлых пород, оказывающих первостепенное влияние на формирование и развитие озерных котловин. Объектами исследования послужили наиболее крупные озера Якутска. Разработана иерархическая схема формирования озерных систем урбанизированных территорий криолитозоны на примере озерных котловин Якутска. Включены следующие основные классификации: морфогенетическая, морфометрическая, гидрологическая, гидрофизическая, гидрохимическая и гидробиологическая. Основываясь на приведенных классификациях составлена унифицированная классификационная матрица озерных систем криолитозоны, содержащая описательную и оценочную характеристику. Выбранные и наиболее подходящие классификации условно поделены на физико-географические и экологические. В результате проведенного анализа озера относятся к старично-антропогенному (Белое, Сергелях), эрозивно-антропогенному (Сайсары) и старичному водно-эрозийному (Хатынг-Юрях, Ытык-Кюель) типу котловин. Преимущественно преобразованы антропогенными воздействиями. Таким образом, в результате эколого-географического анализа озера Якутска отнесены к умеренно-загрязненным (Ытык-Кюель, Сергелях) и загрязненным (Белое, Хатынг-Юрях и Сергелях).

Ключевые слова: городские озера, Якутск, криолитозона, многолетнемерзлые породы, озера-старицы.

Благодарности. Автор благодарен научному руководителю вед. науч. сотр. Института геологии и благородных металлов СО РАН, канд. биол. наук Легостаевой Яне Борисовне, за советы и ценные замечания при работе над статьей.

Для цитирования: Руфова А. А. Подходы к эколого-географической классификации городских озер (на примере г. Якутска) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2024. Т. 48. С. 74–89. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.48.74>

Approaches to Ecological and Geographical Classification of Urban Lakes (on the Example of Yakutsk)

A. A. Rufova*

Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation

Abstract. Based on a methodology, an approach to the ecological and geographical classification of urban lakes is considered on the example of one of the largest cities in the North-East of Russia - Yakutsk. The survey area refers to the permafrost zone, which has a primary influence on the formation and development of lake depressions. The survey objects are based on the largest lakes in Yakutsk. A hierarchical scheme for the formation of lake systems in urbanized territories of the cryolithozone has been developed using the example of lake depressions in the city of Yakutsk. The research includes the following main classifications: morphogenetic, morphometric, hydrological, hydrophysical, hydrochemical and hydrobiological. Based on the above classifications, a unified classification matrix of permafrost lake systems has been compiled, containing descriptive and evaluative characteristics. The selected and most appropriate classifications are conventionally divided into physical-geographical and environmental. As a result of the analysis, the lakes belong to the oxbow-anthropogenic (Beloe, Sergelyakh), erosion-anthropogenic (Saysary) and oxbow-erosion (Khatyng-Yuryakh, Ytyk-Kyuel) type of depressions. Essentially it is transformed by anthropogenic influences. Thus, as a result of ecological and geographical analysis, the lakes of Yakutsk are classified as moderately polluted (Ytyk-Kyuel, Sergelyakh) and polluted (Beloye, Khatyng-Yuryakh and Sergelyakh).

Keywords: urban lakes, Yakutsk, cryolithozone, permafrost, oxbow lakes.

For citation: Rufova A.A. Approaches to Ecological and Geographical Classification of Urban Lakes (on the Example of Yakutsk). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2024, vol. 48, pp. 74-89. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.48.74> (in Russian)

Введение

Озера играют важную роль в природных процессах, они, в сущности, определяют облик некоторых ландшафтных зон и входят в единую природную систему. Вопросы формирования и развития озерной системы всегда привлекали внимание исследователей, в настоящее время накопилось достаточное количество материалов для детального описания озера с помощью пространства и эмпирических данных или наиболее характерных признаков. Более ста лет изучаются озера, но в последние десятилетия наиболее остро ставятся вопросы охраны, рационального использования озер селитебных территорий, где усиливается хозяйственная и рекреационная деятельность. [Макаров, Седельникова, 2016; Manikandan, Bhuvaneshvari, 2022; Легостаева, Руfoва, 2022; An overview on ... , 2023].

Остро возникает необходимость в поисках концептуального подхода и в разработке методологии, обеспечивающих поддержку принятия решений в условиях дефицита количественной информации и наличия значительного объема качественной информации, позволяющих формализовать знания о возможных вариантах функционирования водного объекта [Мякишева, 2009].

Подходы к классификации и типологии озер остаются весьма актуальной теоретической проблемой лимнологии. С начала XX в. изучаются экосистемы водоемов и делаются попытки сгруппировать озера на типы и группы,

классы и подклассы в зависимости от их сходства или различия [Penny, Brian, Geoff, 1994; Muhammad, 2018; Руфова, Ксенофонтова, 2015]. В настоящее время существует множество классификаций, устанавливающих происхождение озерных котловин, закономерности их строения и характер протекающих в них гидрохимических и гидробиологических процессов [Верещагин, 1930; Hutchinson, 1957; Cole, 1979; Hentz, 1981; Anadon, Cabrera, Kelts, 1991; Lake-basin type ... , 2000; A new broad ... , 2019; Branstrator, 2022]. Разрозненность существующих методов и оценок, а также многопараметричность исследуемых природно-антропогенных водных систем затрудняют их непосредственное сравнение сразу по всей совокупности используемых характеристик. И, естественно, возникает необходимость в интеграции, объединении и синтезе отдельных параметров и исходных характеристик в единую кондиционную оценку озерных систем.

В работе используются инструменты традиционной методологии, в частности классификация и типология озер. Кроме этого, отобраны и сгруппированы классификации, на основе которых разработан интегральный подход к характеристике формирования озерных систем урбанизированных территорий криолитозоны.

Материалы и методика

Объектом исследования послужили озера, расположенные в пределах селитебной территории одного из крупных городов на северо-востоке Сибирской платформы – Якутска, – Белое, Хатынг-Юрях, Ытык-Кюель, Сергелях и Сайсары, которые имеют природное старичное происхождение, отличаются разной антропогенной нагрузкой в зависимости от местоположения водоема на территории города (рис. 1). В табл. 1 приведена общая морфометрическая характеристика исследуемых озер [Реки и озера ... , 2007].

Эколого-географический анализ проводится на основе принятых классификаций, отражающих их характеристики и главным образом региональные особенности территорий криолитозоны. В работе применены классификации, разделенные по ключевым признакам (табл. 2).

Таблица 1

Морфометрическая характеристика озер г. Якутска

Характеристика	Озеро					
	Белое	Хатынг-Юрях	Ытык-Кюель	Сергелях	Сайсары	
Площадь зеркала воды, км ²	0,67	0,26	0,89	0,47	0,49	
Объем воды, м ³	1,94	0,28	1,34	0,42	1,23	
Глубина, м	максимальная	6,5	3,0	2,6	2,0	6,0
	средняя	2,9	1,1	1,5	0,88	2,65
Длина, км	озера	1,3	5,2	5,0	6,0	1,4
	береговой линии	6,7	10,7	6,7	–	5,4
Ширина, км	максимальная	1,28	0,16	0,55	0,15	0,47
	средняя	0,28	0,05	0,17	0,08	0,35



Рис. 1. Карта-схема фактического опробования наиболее крупных озер г. Якутска

Таблица 2

Классификационные показатели озерных вод г. Якутска

Классификация признаков	Автор	Название работы	Год
Морфогенетические	М. А. Первухин	О генетической классификации озерных ванн	1937
	Д. Д. Квасов	Общие закономерности формирования и развития озер. Методы изучения истории озер	1986
	В. И. Агеев	Реки и озера Якутии	2007
Морфометрические	П. В. Иванов	Классификация озер мира по величине и по их средней глубине	1948
	С. П. Китаев	Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон	1984
	А. А. Самохин и др.	Практикум по гидрологии	1980
	С. В. Григорьев и др.	Каталог озер Карелии	1959
Гидрологические	Б. Б. Богословский	Озероведение	1960
Гидрофизические	Forel F. A.	Le Lemane: monographie limnologique	1892
	С. П. Китаев	Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон	1984
Гидробиологические	P. S. Welch	Limnology	1952
Гидрохимические	О. А. Алекин	Общая гидрохимия (химия природных вод)	1970
Экологические	В. Ф. Протасов	Экология здоровья и окружающей среды в России	2001

Результаты исследования

Факторы формирования. Формирование озер теснейшим образом связано с историей развития рельефа. Принято считать, что наличие большого количества озер говорит о том, что в прошлом рельеф претерпел большие изменения. В геологических масштабах времени развитие озер протекает очень быстро. Реки и ручьи, вытекающие из озер, постепенно углубляя свои русла, вызывают падение их уровня, озерные котловины заполняются наносами и продуктами жизнедеятельности растений и животных, а иногда и хемогенными осадками. В результате всего этого озера мелеют и постепенно исчезают [Cohen, 2003; Evolution of ancient ... , 2010]. Только самые крупные из них могут существовать миллионы лет, но у подавляющего большинства срок жизни гораздо меньше – всего лишь не более нескольких десятков тысяч лет.

Озера могут быть сформированы различными путями. Например, старейшие и крупнейшие системы являются результатом тектонической деятельности. Щелевые, находящиеся в Африке, – результат сейсмической активности вдоль линии разделения двух тектонических плит [El-Sheekh, Elsaied, 2023]. Сформированные льдом создавались, когда ледники отступали, оставляя позади провалы в формах ландшафта, которые были заполнены водой [The Role of Englacial ... , 2020]. И наконец, озера-старицы являются

речными, появляясь, когда блуждающий речной изгиб отсекается от главного канала [Реки и озера..., 2007; Wayana, Tamlin, Xiao, 2021].

Котловины озер возникают под действием ряда различных условий и факторов, формирующих рельеф земной поверхности. Согласно Б. Б. Богословскому, факторы формирования озер подразделяются на следующие группы: физико-географические, геологические, гидрогеологические, физико-химические, физические, биологические и искусственные [Богословский, 1960].

Озера г. Якутска в основном возникли в плейстоцене, оказавшем большое влияние на расположение, строение, очертание и другие особенности озер [Спектор, Спектор, 2017]. Большую роль в эволюции котловины сыграл также и климат прошлого времени [Скачков, Саввинов, 2017]. Благодаря постоянному притоку воды с р. Лены в течение достаточно длительного времени происходила переработка котловин.

На основе результатов сопряженного анализа данных выделены основополагающие условия формирования озерных систем на территории г. Якутска: литосферные, атмосферные, гидросферные, биосферные и антропоферные. Каждое условие подчиняется закону иерархии и взаимоподчиненности. Участие и значение всех условий в процессе формирования и развития озерной системы являются первостепенными и взаимосвязанными. В связи с вышеизложенным, разработана иерархическая схема формирования и развития озерных котловин урбанизированных территорий криолитозоны на примере г. Якутска, представленная по схеме: факторы → процессы → механизмы → тип озерной котловины (рис. 2).

Озера г. Якутска имеют следующие котловины: Белое – старично-антропогенное, Сайсары – эрозионно-антропогенное, Хатынг-Юрях и Ытык-Кюель – старичного водно-эрозионного типа и Сергелях старично-антропогенного типа. Городские озера преимущественно преобразованы антропогенными воздействиями.

Таким образом, анализ факторов формирования озерной системы показал, что каждый компонент экосистемы имеет непосредственное влияние на формирование водоема и его котловины. Трансформация одного составляющего приводит к изменению характеристики каждого компонента экосистемы озера.

Основные подходы к классификации озер. С накоплением новых данных и материалов появляются все новые трактовки и поправки к классификациям озер. Важнейшим условием является основание и выбор признака, который прежде всего должен быть постоянным и приоритетным (т. е. количественные показатели его не должны сильно варьировать и перекрывать пределы других признаков), простым и информативным.

На сегодняшний день существует морфогенетическая, морфометрическая, гидрологическая, гидрофизическая, гидрохимическая и гидробиологическая классификации озер и озерных котловин. Это общепринятое классическое деление. На основе характеристик классификаций разработана унифицированная классификационная матрица озерных систем криолитозоны (рис. 3), структура которой содержит описательную и оценочную характеристики, состоит из видов, признаков и экологической оценки, составлена по схеме соподчинения.

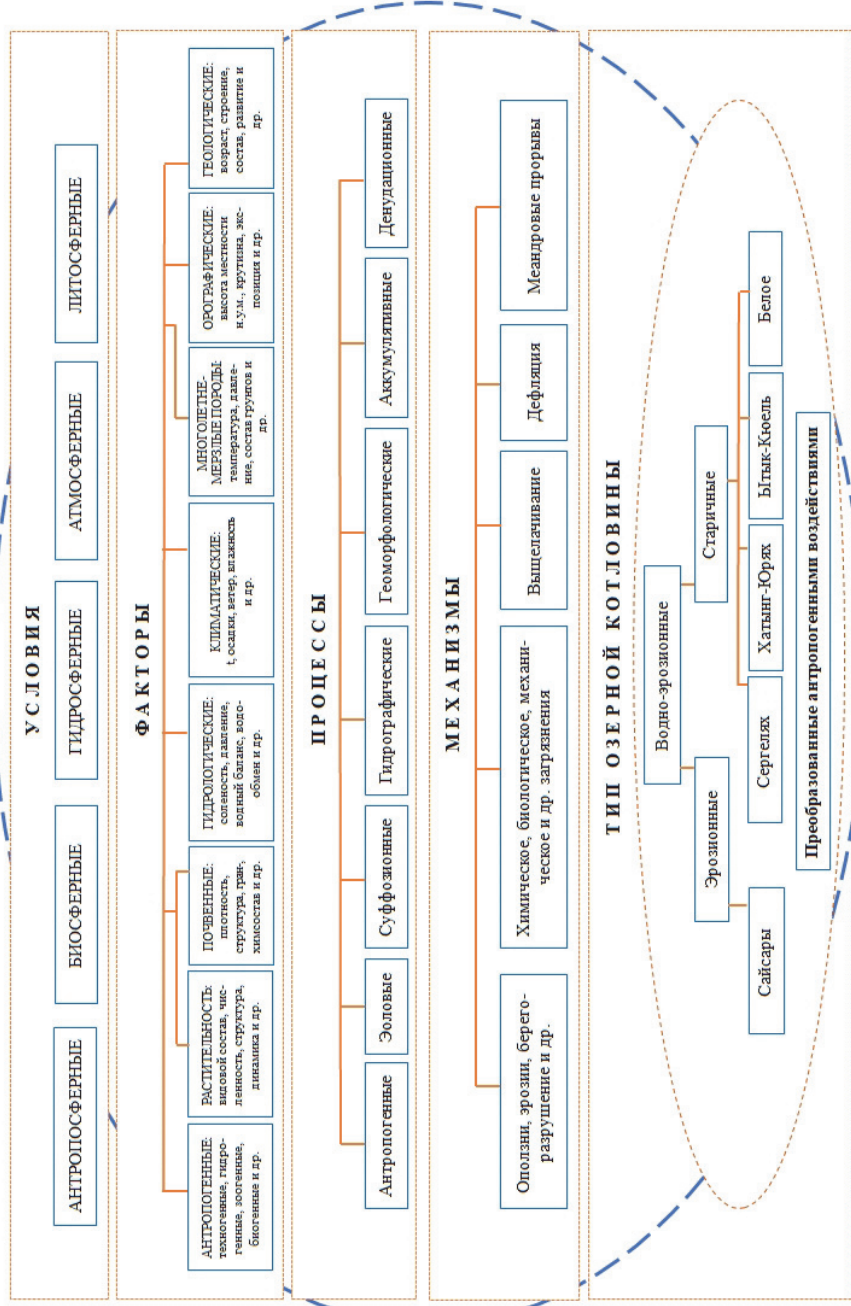


Рис. 2. Иерархическая схема формирования озерных систем урбанизированных территорий криолистоны на примере озерных котловин г. Якутска

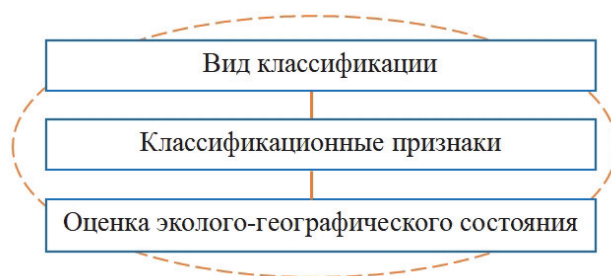


Рис. 3. Унифицированная классификационная матрица озерных систем криолитозоны

Вводной частью является определение вида классификации, которая характеризуется по двум типам: физико-географическая (морфогенетическая, морфометрическая, гидрологическая, гидрофизическая) и экологическая (гидрохимическая, гидробиологическая). Следующий блок – это классификационные признаки, выявляющие характеристику и основные выводы. Иными словами, обозначают те признаки, которые характерны в данном случае. Например, морфогенетический вид включает признаки по озерным котловинам, возрасту и происхождению озер; морфометрический – по величине площади, глубине, расчлененности и т. д. Замыкающее звено – оценка эколого-географического состояния.

Унифицированная классификационная матрица озерных систем урбанизированных территорий криолитозоны является основой для проведения подробного анализа и характеристики городских озерных экосистем. Матрица наиболее удобна для анализа и управления данными кадастровой оценки озерных экосистем, определения оптимального направления их рационального использования и контроля над их функционированием в условиях различной степени антропогенной нагрузки.

Классификации озер г. Якутска. Изучение одной системы недостаточно для понимания о ее функционировании как единого целого, необходим комплексный подход и анализ экосистемы как неразрывной структуры исследования закономерностей в то же время с учетом индивидуальности условий формирования.

Морфогенетическая классификация представлена по озерным котловинам, по возрасту и происхождению. Исследуемые озера являются речными озерами-старицами, относятся к современным. В морфогенетической характеристике первостепенной является роль р. Лены и распространенная многолетняя мерзлота.

По **морфометрическим классификациям** относятся к очень малым и среднему классу. По величине площади самым крупным озером является Ытык-Кюель, площадь зеркала составляет 0,89 км². По средней глубине являются очень малыми (Хатынг-Юрях, Ытык-Кюель, Сергелях, Сайсары) и малыми (Белое). По максимальной глубине к очень малым (Хатынг-Юрях, Ытык-Кюель, Сергелях), малым (Белое) и средним (Сайсары). Также в дан-

ной группе выделяют классификацию по расчлененности берегов. Озера обычно делят на: сильно расчлененные (Сергелях), слабо расчлененные (Белое, Сайсары) и мало расчлененные (Хатынг-Юрях, Ытык-Кюель).

Одним из основных факторов морфометрии является форма. Так, по классификации [Григорьев, Грицевская, 1959] выделяется 4 формы, которые в свою очередь делятся на подформы (окружность, овал, удлинённые и в виде борозды). По расчетам исследуемые озера по форме относятся к близким к овалу – Сайсары, Белое; озерам, вытянутым в виде борозды – Ытык-Кюель, Хатынг-Юрях и Сергелях.

По *гидрологическим классификациям* изучаемые озера являются сточными. По фундаментальной классификации континентальных водоемов по внешнему водообмену [Богословский, 1960] озера распределились между третьим и четвертым подклассом аккумулятивного класса.

Гидрофизические классификации. Озера г. Якутска относятся по местоположению и характеристикам территории к умеренному типу. Также к гидрофизической группе можно отнести классификацию по прозрачности воды [Китаев, 1984], где выделяется пять типов от очень низкой до очень высокой. Исследуемые озера относятся к среднему типу.

Гидрохимические классификации представлены по следующим показателям: водородный показатель рН, минерализация и жесткость воды. Исследуемые озера характеризуются преимущественно гидрокарбонатно-натриевым составом, повышенной и средней минерализацией, слабощелочной средой и умеренно-жесткой водой [Алекин, 1970]. В отдельные годы наблюдаются максимально высокие показатели минерализации (выше 1200 мг/дм³). Основными загрязняющими веществами выступают взвешенные вещества, Li⁺, Fe_{общ} и микроэлементы – Cu, Ni, Pb, Zn.

Гидробиологические классификации рассмотрены с помощью классической классификации по трофическому статусу А. Тинемана и Э. Наумана [Welch, 1952]. Деление идет на эвтрофные, мезотрофные, олиготрофные и дистрофные. Наиболее крупные озера исследуемой территории относятся к эвтрофным водоемам.

На основе характеристики унифицированной классификационной матрицы составлен интегральный анализ эколого-географического состояния озерных систем г. Якутска (табл. 3). При разработке интеграционного анализа охвачен каждый природный компонент, который в той или иной степени влияет на формирование и развитие озерной системы. Основная задача состоит в обобщении существующих классификаций и разработке рекомендаций по выработке подходов к оценке эколого-географического состояния озер исследуемой территории, как единого природного комплекса, исходя из основных особенностей природных условий.

Таблица 3

Интегральный анализ эколого-географического состояния озерных экосистем г. Якутска

Вид классификации	Классификационные признаки	Характеристика озерных систем				
		оз. Белое	оз. Ытык-Кюель	оз. Хатынг-Юрх	оз. Сергелях	оз. Сайсары
Морфогенетические	По озерным котловинам [Первухин, 1937]	Ледниково-гидрогенные	Ледниково-гидрогенные	Ледниково-гидрогенные	Ледниково-гидрогенные	Ледниково-гидрогенные
	По возрасту и происхождению [Общие закономерности ..., 1986]	Современные озера	Современные озера	Современные озера	Современные озера	Современные озера
	Лимногенетическая классификация [Реки и озера Якутии, 2007]	Речные (старичьи)	Речные (старичьи)	Речные (старичьи)	Речные (старичьи)	Речные (старичьи)
Морфометрические	По величине площади [Иванов, 1948]	Очень малые	Средние	Очень малые	Очень малые	Очень малые
	По глубине [Китаев, 1984]	Малые	Очень малые	Очень малые	Очень малые	Малые
	По расчлененности берегов [Практикум по гидрологии ..., 1980]	Средние	Очень малые	Очень малые	Очень малые	Малые
Гидрологические	По расчлененности берегов [Практикум по гидрологии ..., 1980]	Слабо расчлененные	Мало расчлененные	Мало расчлененные	Сильно расчлененные	Слабо расчлененные
	По форме озерной котловины [Григорьев, Грицевская, 1959]	Близикие к овалу	Вытянутые	Вытянутые	Вытянутые	Близикие к овалу
	По водному балансу [Богословский, 1960]	Сточное	Сточное	Сточное	Сточное	Сточное
Гидрофизические	По внешнему водообмену [Богословский, 1960]	Аккумулятивное	Аккумулятивное	Аккумулятивное	Аккумулятивное	Аккумулятивное
	Термическая классификация [Fotei, 1892]	Умеренные	Умеренные	Умеренные	Умеренные	Умеренные
	По прозрачности воды [Китаев, 1984]	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя

Окончание табл. 3

Вид классификации	Классификационные признаки	Характеристика озерных систем				
		оз. Белое	оз. Ыгык-Кюель	оз. Хагынг-Юрях	оз. Сергелях	оз. Сайсары
Гидрохимические	По типам вод	Гидрокарбонатно-натриевые	Гидрокарбонатно-натриевые	Гидрокарбонатно-натриевые	Гидрокарбонатно-натриевые	Гидрокарбонатно-натриевые
	По минерализации	Средне-минерализованные	Средне-минерализованные	Средне-минерализованные	Средне-минерализованные	Средне-минерализованные
	По рН показателю	Слабощелочная	Слабощелочная	Слабощелочная	Слабощелочная	Слабощелочная
	По жесткости воды	Умеренно-жесткая	Умеренно-жесткая	Умеренно-жесткая	Умеренно-жесткая	Умеренно-жесткая
Гидробиологические	По трофическому статусу [Welch, 1952]	Загрязненные	Умеренно-загрязненные	Умеренно-загрязненные	Загрязненные	Грязные
	Индекс загрязненности воды [Протасов, 2001]	Умеренно-загрязненная	Умеренно-загрязненная	Загрязненная	Загрязненная	Загрязненная

Главной физико-географической особенностью территории Якутска является распространение многолетнемерзлых пород, влияющих на все аспекты формирования и развития озерных котловин. В связи с этим применена лимногенетическая классификация, разработанная с учетом специфики изучаемой территории. Многолетнемерзлые породы оказывают прямую связь на гидрологические (водный баланс и внешний водообмен), гидрофизические (температурно-термические), гидробиологические (трофическая оценка) и гидрохимические (минерализация) показатели озер.

Экологическая оценка дается на основании биологической и химической составляющей озерной системы, где рассчитываются трофический статус и индекс загрязненности воды. Озера Якутска являются умеренно-загрязненными (Ытык-Кюель, Сергелях) и загрязненными (Белое, Хатынг-Юрях, Сайсары).

Таким образом, классификационный подход разработан на основе комплексной оценки с учетом особенностей территории, что наиболее удобно для описания и характеристики исследуемой озерной системы.

Выводы

1. В работе принято деление факторов формирования озер на физико-географические, геологические, гидрогеологические, физико-химические, физические, биологические и искусственные.

2. Для детального изучения формирования озерной системы разработана иерархическая схема формирования и развития озерных котловин урбанизированных территорий криолитозоны на примере одного из крупных городов северо-востока России – Якутска. Иерархическая схема составлена по плану: условие → факторы → процессы → механизмы → тип озерной котловины.

3. Составлена унифицированная классификационная матрица озерных систем урбанизированных территорий криолитозоны, состоящая из трех ступеней (вид классификации, классификационные признаки, оценка эколого-географического состояния).

4. Конечным результатом стал интегральный анализ эколого-географического состояния озерных экосистем г. Якутска, представленный видом и классификационными признаками.

5. Озера Якутска относятся к современным озерам-старикам, по морфометрическим характеристикам к малым и очень малым. Имеют сточный водный баланс и аккумулятивный водообмен. Химический состав гидрокарбонатно-натриевый, превышение ПДК по культурно-бытовому назначению отмечается по взвешенным веществам, Li^+ , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Cu , Ni , Pb и Zn . В целом озера характеризуются как умеренно-загрязненные и загрязненные.

В последние годы наблюдаются тенденция повышения загрязняющих веществ и ухудшение качества озерных вод. Городские озера подвергаются сильному заилению, зарастанию и обмелению, что вызывает необходимость организации постоянного комплексного мониторинга за качеством озерных экосистем.

Таким образом, территория распространения многолетней мерзлоты требует особого внимания и несколько иного подхода в изучении природных экосистем с учетом урбанизированности территории (городские озера). Для наиболее углубленного изучения проведена данная работа по видам классификаций, с помощью которых можно выйти на формирования и развития озерных систем северных городов. Разработанные схемы и матрицы – это подходы для комплексной эколого-географической оценки водоема на территории криолитозоны.

Список литературы

- Алекин О. А. Общая гидрохимия (химия природных вод). Л. : Гидрометеоздат, 1970. 413 с.
- Богословский Б. Б. Озероведение. М. : МГУ, 1960. 335 с.
- Верещагин Г. Ю. Методы морфологической характеристики озер // Труды Олонекской научной экспедиции. Ч. 2, вып. 1. Л. : Гос. гидролог. ин-т, 1930. 116 с.
- Григорьев С. В., Грицевская Г. Л. Каталог озер Карелии. М. : АН СССР, 1959. 240 с.
- Иванов П. В. Классификация озер мира по величине и по их средней глубине // Бюллетень ЛГУ. 1948. № 21. С. 29–36.
- Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М. : Наука, 1984. 208 с.
- Легостаева Я. Б., Руфова А. А. Анализ гидрохимического режима наиболее крупных озер г. Якутска // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2022. Т. 27, № 4. С. 523–543.
- Макаров В. Н., Седельникова А. Л. Экогеохимия городских озер Якутска. Якутск : ИМЗ, 2016. 207 с.
- Мякишева Н. В. Многокритериальная классификация озер. СПб. : РГГМУ, 2009. 160 с.
- Общие закономерности формирования и развития озер. Методы изучения истории озер // отв. ред. Д. Д. Квасов. Л. : Наука, 1986. 254 с.
- Первухин М. А. О генетической классификации озерных ванн // Землеведение. 1937. Т. 39, № 6. С. 526–537.
- Практикум по гидрологии : учеб. пособие для вузов по специальности «Гидрология суши» / А. А. Самохин, Н. Н. Соловьева, А. М. Догановский. Л. : Гидрометеоздат, 1980. 29 с.
- Протасов В. Ф. Экология здоровья и окружающей среды в России. М. : Финансы и статистика, 2001. 358 с.
- Реки и озера Якутии / отв. ред. В. И. Агеев. Якутск : Бичик, 2007. 136 с.
- Руфова А. А., Ксенофонтова М. И. Эколого-географические факторы, обуславливающие формирование озер г. Якутска Республики Саха (Якутия) // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18806> (дата обращения: 13.02.2024).
- Скачков Ю. Б., Саввинов Д. Д. Климат Якутска // Прикладные экологические проблемы г. Якутска. Новосибирск : Наука, 2017. С. 71–84.
- Спектор В. Б., Спектор В. В. Рельеф и геологическое строение территории Большого Якутска // Прикладные экологические проблемы г. Якутска. Новосибирск : Наука, 2017. С. 7–16.
- A new broad typology for rivers and lakes in Europe: Development and application for large-scale environmental assessments / A. L. Solheim, L. Globevnik, K. Austnes [et al.] // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 6, N 97. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134043>
- An overview on water quality, pollution sources, and associated ecological and human health concerns of the lake water of megacity: a case study on Dhaka city lakes in Bangladesh / M. Uddin, T. Kormoker, A. B. Siddique [et al.] // Urban Water Journal. 2023. Vol. 3, N 20. P. 261–277. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2023.2169171>
- Anadon P., Cabrera L., Kelts K. Lacustrine Facies Analysis: International Association of Sedimentologists Special Publication. Oxford, Blackwell : Press, 1991. 327 p.
- Branstrator D. K. Origins of Types of Lake Basins // Encyclopedia of Inland Waters. 2nd ed. 2022. Vol. 16, N 1. P. 415–430.

- Cole G. A.* Textbook of Limnology. 2nd ed. St. Louis : C. V. Mosby, 1979. 426 p.
- Cohen A. S.* The Geological Evolution of Lake Basins // *Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems*. N. Y. : Oxford Academic, 2003. 155 p.
- El-Sheekh M., Elsaied H. E.* Lakes of Africa: Microbial Diversity and Sustainability. Tanta : Elsevier, 2023. 557 p.
- Evolution of ancient Lake Ohrid: a tectonic perspective / N. Hoffmann, K. Reicherter, T. Fernández-Steeger [et al.] // *Biogeosciences*. 2010. Vol. 7. P. 3377–3386. <https://doi.org/10.5194/bg-7-3377-2010>
- Forel F. A.* Le Léman: monographie limnologique. F. Rouge, Lausanne : Next, 1892. 138 p.
- Hentz T. F.* Sedimentology and structure of Culpeper Group lake beds (Lower Jurassic) at Thoroughfare Gap, Virginia, Lawrence, Kansas : M.Sc. Thesis, University of Kansas, 1981. 166 p.
- Hutchinson G. E.* Treatise on Limnology // *Geography, Physics and Chemistry*. 1957. Vol. 1. P. 95–115.
- Lake-basin type, source potential, and hydrocarbon character: an integrated-sequence-stratigraphic-geochemical framework / K. M. Bohacs, A. R. Carroll, J. E. Neal [et al.] // *Lake basins through space and time*. 2000. N 46. P. 3–33.
- Manikandan R., Bhuvanavari S.* A study on causes and consequences of urban lakes pollution in Coimbatore city // *International journal of creative research thoughts*. 2022. Vol. 6, N 10. P. 184–190.
- Muhammad M. S.* An overview on water quality trending for lake water classification in Malaysia // *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. Vol. 7, N 3. P. 5–10. <https://doi:10.14419/ijet.v7i3.23.17250>
- Penny J., Brian M., Geoff P.* Lakes – Classification and Monitoring. A strategy for the classification of lakes. Liverpool : RD Note. 1994. 253 p.
- The Role of Englacial Hydrology in the Filling and Drainage of an Ice-Dammed Lake / G. B. David, G. E. Flowers, C. G. Schoof [et al.]. Yukon, Canada, 2020. Vol. 125. <http://doi.org/10.1029/2019JF005110>
- Wayana D., Tamlin M. P., Xiao Y.* Functional Lake-to-Channel Connectivity Impacts Lake Ice in the Colville Delta, Alaska // *JGR Earth Surface*. 2021. Vol. 126, N 12. <https://doi.org/10.1029/2021JF006362>
- Welch P. S.* Limnology. 2nd ed. N. Y. : McGraw-Hill Book Company Inc., 1952. 211 p.

References

- Alekin O.A. *Obshhaja gidrohimija (himija prirodnyh vod)* [General hydrochemistry (chemistry of natural waters)]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1970, 413 p. (in Russian)
- Bogoslovskij B.B. *Ozerovedenie* [Like science]. Moscow, MSU Publ., 1960, 335 p. (in Russian)
- Vereshhagin G.Ju. Metody morfologicheskoy harakteristiki ozer [Methods of morphological characteristics of lakes]. *Trudy Oloneckoj nauchnoj jekspedicii*, 1930, part 2, iss. 1, 116 p. (in Russian)
- Grigor'ev S.V., Gritsevskaya G.L. *Katalog ozer Karelii* [Catalog of lakes in Karelia]. Moscow, AN SSSR Publ., 1959, 239 p. (in Russian)
- Ivanov P.V. Klassifikacija ozer mira po velichine i po ih srednej glubine [Classification of the world's lakes by size and average depth]. *Bulleten LGU* [Newsletter LGU], 1948, no 21. pp. 29-36. (in Russian)
- Kitaev S.P. *Ekologicheskie osnovy bioproduktivnosti ozer razlichnyh prirodnyh zon* [Ecological bases of bioproductivity of lakes of various natural zones]. Moscow, Nauka Publ., 1984, 208 p. (in Russian)
- Legostaeva Ja.B., Rufova A.A. Analiz gidrohimicheskogo rezhima naibolee krupnyh ozer g. Yakutskaja [Analysis of the hydrochemical regime of the largest lakes in Yakutsk]. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики* [Arctic and subarctic natural resources], 2022, vol. 27, no. 4, pp. 523-543. (in Russian)
- Makarov V.N., Sedelnikova A.L. *Jekogeohimija gorodskih ozer Jakutskaja* [Ecogeochemistry of urban lakes in Yakutsk]. Yakutsk, IMZ Publ., 2016. 207 p. (in Russian)
- Mjakisheva N.V. *Mnogokriterialnaja klassifikacija ozer* [Multi-criteria classification of lakes]. St. Petersburg, RGGMU Publ., 2009. 160 p. (in Russian)

- Obshhie zakonomernosti formirovaniya i razvitija ozer* [general patterns of formation and development of lakes] (Ed. by D.D. Kvasov) Leningrad, Nauka Publ., 1986, 253 p. (in Russian)
- Pervuhin M.A. O geneticheskoy klassifikacii ozernyh vann [On the genetic classification of lake baths]. *Zemlevedenie* [Geosciences], 1937, vol. 39, no. 6, pp. 526-537. (in Russian)
- Praktikum po gidrologii: uchebnoe posobiye dlya vuzov po spetsialnosti "Gidrologiya sushy"* [hydrology workshop: book for universities in the specialty "Hydrology of land"]. Samohin A.A., Solov'eva N.N., Doganovskij A.M. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1980, 29 p. (in Russian)
- Protasov, V.F. *Jekologija zdorov'ja i okruzhajushhej sredy v Rossii* [Ecology of health and environment in Russia]. Moscow, Finansy i statistika publ., 2001, 358 p. (in Russian)
- Reki i ozera Jakutii* [River end like Yakutia] (Ed. by V.I. Ageev). Yakutsk, Bichik Publ., 2007, 136 p. (in Russian)
- Rufova A.A., Ksenofontova M.I. Jekologo-geograficheskie faktory, obuslavlivajushhie formirovanie ozer g. Jakutska Respubliki Saha (Jakutija) [Ecological and geographical factors determining the formation of lakes in the city of Yakutsk, Republic of Sakha Yakutia]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija* [Modern problems of science and education], 2015, no. 1-1. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18806> (date of access: 02/13/2024) (in Russian)
- Skachkov Ju.B., Savvinov D.D. Klimat Jakutska [Climate of Yakutsk]. *Prikladnye jekologicheskie problemy g. Jakutska* [Applied environmental problems of Yakutsk]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2017, pp. 71-84. (in Russian)
- Spektor V.B., Spektor V.V. Relief i geologicheskoe stroenie territorii Bolshogo Jakutska [relief and geological structure of Greater Yakutsk]. *Prikladnye jekologicheskie problemy g. Jakutska* [Applied environmental problems of Yakutsk]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2017, pp. 7-16. (in Russian)
- Solheim A.L., Globevnik L., Austnes K. et al. A new broad typology for rivers and lakes in Europe: Development and application for large-scale environmental assessments. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 6, no. 97. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134043>
- Uddin M., Kormoker T., Siddique A.B. et al. An overview on water quality, pollution sources, and associated ecological and human health concerns of the lake water of megacity: a case study on Dhaka city lakes in Bangladesh. *Urban Water Journal*, 2023, vol. 3, no. 20, pp. 261-277. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2023.2169171>
- Anadon P., Cabrera L., Kelts K. *Lacus-trine Facies Analysis: International Association of Sedimentologists Special Publication*. Oxford, Blackwell, Press, 1991, 327 p.
- Branstrator D.K. Origins of Types of Lake Basins. *Encyclopedia of Inland Waters*, Second Edition, 2022, vol. 16, no. 1, pp. 415-430.
- Cole G.A. *Textbook of Limnology* (2nd ed.). St. Louis, C.V. Mosby, 1979, 426 p.
- Cohen A.S. The Geological Evolution of Lake Basins. *Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems*. New York, Oxford Academic, 2003, 155 p.
- El-Sheekh M., Elsaied H.E. *Lakes of Africa: Microbial Diversity and Sustainability*. Tanta, Elsevier, 2023, 557 p.
- Hoffmann N., Reicherter K., Fernández-Steeger T. [et al.] Evolution of ancient Lake Ohrid: a tectonic perspective. *Biogeosciences*, 2010, vol. 7, pp. 3377-3386. <https://doi.org/10.5194/bg-7-3377-2010>
- Forel F.A. *Le Leman: monographie limnologique*. F. Rouge, Lausanne, Next, 1892, 138 p.
- Hentz T.F. *Sedimentology and structure of Culpeper Group lake beds (Lower Jurassic) at Thoroughfare Gap*. Virginia, Lawrence, Kansas, M.Sc. Thesis, University of Kansas, 1981, 166 p.
- Hutchinson G.E. Treatise on Limnology. *Geography, Physics and Chemistry*, 1957, vol. 1, pp. 95-115.
- Bohacs K.M., Carroll A.R., Neal J.E. et al. Lake-basin type, source potential, and hydrocarbon character: an integrated-sequence-stratigraphic-geochemical framework. *Lake basins through space and time*, 2000, no. 46, pp. 3-33.
- Manikandan R., Bhuvaneshwari S. A study on causes and consequences of urban lakes pollution in Coimbatore city. *International journal of creative research thoughts*, 2022, vol. 6, no. 10, pp. 184-190.
- Muhammad M.S. An overview on water quality trending for lake water classification in Malaysia. *International Journal of Engineering and Technology*, 2018, vol. 7, no. 3, pp. 5-10. <https://doi:10.14419/ijet.v7i3.23.17250>

Penny J., Brian M., Geoff P. *Lakes – Classification and Monitoring. A strategy for the classification of lakes*. Liverpool, RD Note, 1994. 253 p.

David G.B., Flowers G.E., Schoof C.G. et al. *The Role of Englacial Hydrology in the Filling and Drainage of an Ice-Dammed Lake*. Yukon, Canada, 2020, vol. 125. <http://doi.org/10.1029/2019JF005110>

Wayana D., Tamlin M.P., Xiao Y. Functional Lake-to-Channel Connectivity Impacts Lake Ice in the Colville Delta, Alaska. *JGR Earth Surface*, 2021, vol. 126, no. 12. <https://doi.org/10.1029/2021JF006362>

Welch P.S. *Limnology*. 2nd ed. New York, McGraw-Hill Book Company Inc., 1952, 211 p.

Сведения об авторе

Руфова Алена Афанасьевна
младший научный сотрудник
Академия наук Республики Саха (Якутия)
Россия, 677000, г. Якутск,
ул. Орджоникидзе, 10
e-mail: alenaruf@inbox.ru

Information about the author

Rufova Alena Afanasevna
Junior Researcher
Academy of Sciences of the Republic
of Sakha (Yakutia)
10, Ordjonikidze st., Yakutsk, 677000,
Russian Federation
e-mail: alenaruf@inbox.ru

Код научной специальности: **1.6.21**

Статья поступила в редакцию **13.02.2024**; одобрена после рецензирования **28.05.2024**; принята к публикации **10.06.2024**

The article was submitted **February, 13, 2024**; approved after reviewing **May, 28, 2024**; accepted for publication **June, 10, 2024**