

*О.О. Смирнова*

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
СТРОЕНИЯ ОЗЕРНЫХ КОТЛОВИН  
СЕВЕРО-ЗАПАДА РУССКОЙ РАВНИНЫ**

*O.O. Smirnova*

**REGIONAL LAWS OF A STRUCTURE  
OF LAKE HOLLOW OF NORTHWEST OF RUSSIAN PLAIN**

*В статье рассмотрены условия происхождения озер и закономерности их распределения по территории. Рассчитаны и проанализированы морфометрические характеристики водоемов, расположенных в одинаковых физико-географических условиях. Приведены зависимости объемов воды в озерах ( $W$ ) от их площадей ( $F$ ). Выделены шесть районов, различающихся видом зависимости  $W = f(F)$ . Выполнены оценки степени тесноты этих связей.*

*Ключевые слова: происхождение, озера, морфология, география, морфометрия, ландшафты.*

*In article conditions of an origin of lakes and law of their distribution on territory are considered. Are calculated and analysed morphometric characteristics of the reservoirs located in identical physico-geographical conditions. Dependences of volumes of water in lakes ( $W$ ) from their areas ( $F$ ) are resulted. Six areas differing by a type of dependence  $W = f(F)$  are allocated. Assessments of a degree of narrowness of these communications are executed.*

*Key words: lakes, origin, morphology, geography, morphometry, landscapes.*

**Введение**

Озеро – водоем замедленного водообмена, не имеющий обратной связи с океаном. Эти водные объекты являются частью гидрографической сети и участвуют в общем круговороте воды как регуляторы речного стока.

**Озёра являются неотъемлемой частью озерных ландшафтов, их водные запасы представляют собой возобновляемый природный ресурс. Озера также широко используются в хозяйственных целях.** Прежде всего они являются источниками водоснабжения, наиболее крупные из них – путями сообщения, озера используются для нужд гидроэнергетики и сельского хозяйства. Одновременно они представляют интерес для добычи сапропеля, водной растительности, рыбного хозяйства, рекреации, а также являются объектами, интересными для науки, просвещения и культуры.

Исследуемая территория расположена на северо-западе Русской (Восточно-Европейской) равнины. Территория принадлежит к бассейнам рек Великая, Волхов, Волга, Молога, Западная Двина и др.

Общая площадь этой территории превышает 270 000 км<sup>2</sup>. Территория относится к районам повышенной озерности. Общее количество озер более 10 000, большая часть которых не изучена. Поэтому разработка способов определения запасов воды в озерах с использованием лишь легко определяемых или уже известных параметров – задача актуальная.

### **1. Природные особенности исследуемой территории**

Большая часть района – равнинная территория, представляющая собой чередование низменностей (Псковская, Приильменская, Молого-Шекснинская, Верхневолжская) и возвышенностей (Валдайская, Лужская, Судомская, Бежаницкая) с колебанием абсолютных отметок в пределах 18–300 м.

В геолого-геоморфологическом отношении исследуемый район занимает северо-западную часть Русской (Восточно-Европейской) древней платформы, имеющей двухъярусное строение – кристаллический фундамент и осадочные породы. Кристаллические породы нижнего яруса, или фундамента, представлены метаморфическими и изверженными породами от архея до нижнего протерозоя – архейские гнейсы, граниты, гранито-гнейсы, порфириды, кристаллические сланцы протерозойского возраста.

Комплекс осадочных пород, слагающих верхний ярус платформы, сформировался в протерозое и палеозое. Породы полого погружаются под более молодые в южном и юго-восточном направлениях. Дочетвертичные отложения повсеместно перекрыты четвертичными.

К важнейшим событиям кайнозойской эры относится наступление ледников на Восточно-Европейскую равнину, оказавшее непосредственное влияние на морфоскульптуру. Территория трижды подвергалась оледенению. Наибольшее значение для исследуемой территории имело последнее, так называемое Валдайское оледенение, закончившееся около 10–12 тыс. лет назад, так как отложения предыдущих оледенений были частично нарушены эрозией, частично разрушены и погребены последним ледником. В послеледниковое время поверхность территории подверглась длительным процессам эрозии.

На рассматриваемой территории выделяются следующие генетические формы рельефа: озерно-ледниковый, ледниково-аккумулятивный, водно-ледниковый аккумулятивный, озерно-аккумулятивный, эрозионно-аккумулятивный, биогенный, эоловый. Такие формы рельефа предопределили образование разнотипных котловин.

Следует отметить, что район находится на границе двух оледенений: московского и валдайского. Поэтому формы рельефа (в том числе и котловины), созданные более древними ледниками, отличаются от более молодых. Современные различия в рельефе связаны с разновозрастностью и неодинаковой продолжительностью его переработки (эволюции).

Более молодые формы ледникового рельефа характерны для области валдайского оледенения, которое отличается ярко выраженным ледниково-аккумулятивным рельефом. Здесь распространены моренные холмы с понижениями между ними, как раз и занятые озерами или заболоченными участками. Также встречаются озы и камы.

Южнее, в зоне московского оледенения, характер морфоскульптуры меняется. Здесь преобладают волнистые или плоские вторичные моренные равнины с отдельными участками сглаженного холмистого рельефа. Созданный москов-

ским ледником холмисто-моренный рельеф подвергся значительной переработке в эпоху валдайского оледенения и особенно в послеледниковое время, что привело в целом к сглаживанию рельефа.

Климат рассматриваемой территории относится к умеренно континентальному типу. Ему свойственны и некоторые черты морского климата, что связано с близостью морей Атлантики. Район лежит в поясе западного переноса воздушных масс и активной циклонической деятельности. Чередование циклонов и антициклонов, морских и континентальных воздушных масс создает неустойчивую погоду.

Район достаточно увлажнен. Годовое количество осадков колеблется в пределах от 600 до 800 мм. Территория Валдайской возвышенности является наиболее увлажненным районом. Здесь выпадает более 700 мм осадков в год. Несколько меньшее количество осадков характерно для низменных территорий (550–600 мм). Слой сток изменяется от 180 до 300 мм.

Влажный климат, небольшое испарение, равнинность территории, сток с которой замедлен, обусловили обилие поверхностных вод, содержащихся в реках, озерах, болотах. Этому способствует также широкое распространение слабопроницаемых озерно-ледниковых и моренных суглинков.

Валдайская возвышенность является водоразделом. Поэтому реки и озера западного и северо-западного склонов возвышенности относятся к Балтийскому бассейну, а восточного и юго-восточного склонов принадлежат бассейну Каспийского моря.

## **2. Озерный фонд территории**

На исследуемой территории преобладают небольшие водоемы, площадь которых не превышает 1 км<sup>2</sup>. Самыми крупными озерами являются Псковско-Чудское (3555 км<sup>2</sup>) и Ильмень (1100 км<sup>2</sup>), Селигер (260 км<sup>2</sup>), Кубенское (648 км<sup>2</sup>).

Озерный фонд по территории распределяется неравномерно. Это зависит, прежде всего, от различий рельефа и неоднородности коренных пород. Наибольшее количество озер сосредоточено в зоне позднее- и ранневалдайской морфоскульптуры. Особенно много водоемов на возвышенностях, что объясняется наличием здесь множества впадин среди холмисто-моренного рельефа. На равнинах количество озер уменьшается. В зоне московского оледенения водоемов значительно меньше. Таким образом, показатель озерности уменьшается с увеличением относительного возраста ледникового рельефа [11].

По своему происхождению озерные котловины можно разделить на следующие типы: доледниковые, ледниковые, подпрудные, ложбинные, гляциокарстовые, котловины сложного типа, карстовые озера, вторичные, пойменные, дельтовые.

В доледниковом (довалдайском) рельефе на месте современных озерно-ледниковых равнин преобладали значительные по площади понижения с уклоном на северо-запад, в сторону Балтийского моря. При отступании ледникового

покрова эти понижения заполнялись водами приледниковых бассейнов, которые затем были спущены, а на их месте остались озерно-ледниковые равнины с остаточными озерами. Среди них можно назвать такие крупные озера как Ильмень, Псковско-Чудское, Кубенское и другие гораздо меньшие по площади водоемы (Полисто, Цевло, Орша, Белогули, Вехно, Верестово и т.д.).

Большинство озер ледникового происхождения образовалось в понижениях среди холмов, на месте растаявших глыб льда. Крупнохолмистый рельеф способствовал распространению озер с большими глубинами – Боровно (10 м), Великое (7 м), Велье (9 м) и др. На плоских заболоченных равнинах сформировались сравнительно мелководные водоемы – Лимандрово (1 м), Болонье (1,5 м), а также озера в низовьях Ловати и др.

Подпрудные озерные котловины возникли вследствие подпруживания потоков талых ледниковых вод моренными холмами. Располагаются подпрудные котловины в понижениях холмистого рельефа. К такому типу относятся озера: Себежское, Жижицкое, Бросно, Улин и др.

Ложбинные озера образовались в результате способности льда при движении выпахивать глубокие узкие ложбины. Такие озерные котловины характерны для области последнего оледенения и свидетельствуют о молодости ледниковой морфоскульптуры. Обычно ложбинные озера располагаются группами, следуя друг за другом. К числу типичных ложбинных озер можно отнести озера: Алоль, Езерище, Усвяча, Вселуг, Стерж, Пено и др.

Гляциокарстовые котловины – ледниковые котловины с подземным стоком, образующиеся в карстующихся породах за счет ледникового переуглубления, работы талых ледниковых вод (Шлино, Граничное, Серема, Тихмень и др.)

Котловины сложного происхождения образовались в результате тектонических процессов, особенностей накопления рыхлых отложений при таянии ледника в краевой зоне. Они имеют сложноочерченную береговую линию, крутые склоны (Селигер).

Озера карстового происхождения чаще всего представляют собой периодические разливы, впадающие в провальные карстовые образования – пещеры, глубокие воронки. Такой тип озер широко распространен в восточной части района – на карбоновом плато, сложенном известняком (Ямное, Съезжее, Березораденское, Городно, Сухое).

Среди болот и болотных массивов встречаются озера вторичного происхождения, образовавшиеся в процессе развития болот. Таких озер много на Ловатской и Псковской низинах.

Пойменные озерные котловины образуются на месте старых речных русел (старицы). Примером может служить долина р. Плюссы.

Дельтовые озерные котловины формируются в устьях крупных рек, впадающих в озеро. Таких озер много в дельтах рек впадающих в озеро Ильмень. [5, 6].

Изучением и учетом поверхностных вод на рассматриваемой территории занимаются Центральное и Северо-Западное управления Гидрометеорологической службы. Значительный объем исследований водных ресурсов осуществляет Валдайский филиал гидрологического института. Большую работу по изучению рек и озер, имеющих рыбопромысловое значение, осуществляет Государственная инспекция по охране и воспроизводству рыбных запасов и регулированию рыболовства, НИОРХ, ГГИ, ИНОЗ.

В основу справочных материалов о поверхностных водах исследуемого района положены официальные источники: Государственный водный кадастр; Ресурсы поверхностных вод СССР (гидрологическая изученность); Гидрографическое описание рек и озер. А также использованы специальные справочники и энциклопедии.

В настоящее время накоплен богатый опыт в изучении крупных озер. Установлены основные морфометрические характеристики водоемов. Однако изученность большинства средних и малых озер северо-запада Русской равнины пока недостаточна, некоторые из них не имеют даже названий. Поэтому неисследованные водные объекты должны подлежать учету.

Каждое озеро характеризуется различными значениями морфометрических характеристик озерной котловины (площадь зеркала, средняя и максимальные глубины, объем, форма и др.). При этом формы и морфометрические характеристики котловин различны в различных ландшафтах, что объясняется зональными физико-географическими условиями генезиса котловин (ледниковые, тектонические, вулканические, карстовые, речные, метеоритные и т. д.).

### **3. Способы оценки водных ресурсов озер**

При определении закономерностей пространственного распределения озерных котловин в основу предлагаемого способа положен очевидный факт: котловины одного и того же происхождения, одинакового возраста должны иметь схожие относительные размеры. Известно, что котловины тектонического происхождения более глубокие, чем, например, ледникового. Карстовые котловины невелики по площади, но относительно глубокие, в то время как котловины эолового происхождения имеют малые глубины и т.п.

Известно, что объем озера определяется произведением его площади на среднюю глубину. Поэтому для подсчета объемов воды в озере в пределах однородного физико-географического района должна быть связь между площадью водной поверхности и средней глубиной озера. Причем средние глубины озер имеют тенденцию к увеличению с ростом площади озера. Кроме всего прочего, чем больше площадь, тем больше объем воды, при условии, если происхождение озер одинаковое и климатические условия, определяющие эволюцию котловин, схожи.

Общие зависимости  $W = f(F)$  для 15 600 озер земного шара построены С.В. Рянжиным [8] (рис. 1). Однако разброс точек на графике достаточно велик, что и объясняется разнотипностью котловин.

Более детальные региональные исследования выполнены А.М. Догановским [2], И.Н. Чукленковой [11], Р.В. Антоновой [1], В.К. Лесненко [5] и др.

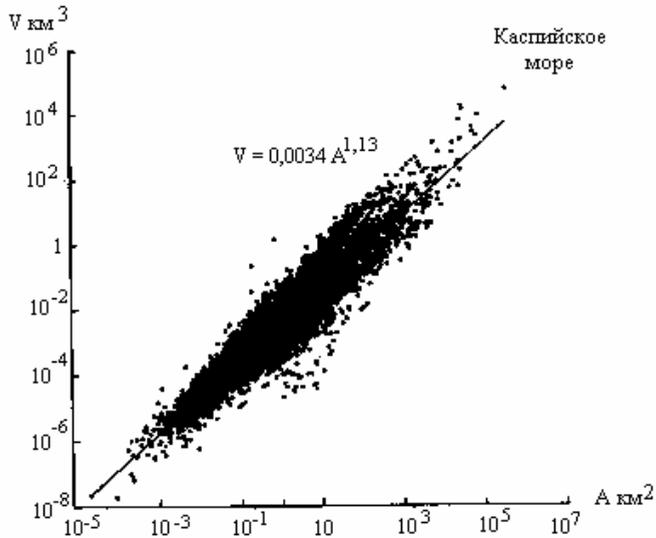


Рис. 1. Зависимость объема котловины  $V$  от площади  $A$  для примерно  $1,56 \cdot 10^4$  природных озер мира (с площадями от Каспийского моря до озер в несколько квадратных метров)

Для определения объемов воды, средних глубин, форм котловин неизученных озер были рассчитаны и проанализированы эти характеристики для 425 изученных водоемов (площадью больше  $1 \text{ км}^2$ ), расположенных в одинаковых физико-географических условиях. Поскольку выбрано небольшое количество озер из десятка тысяч, то результат работы представлены на уровне экспертных оценок.

При построении зависимости  $W = f(F)$  для исследуемых озер, были учтены физико-географические условия расположения озер, т.е. условия происхождения и эволюции их котловин. В результате было выделено 6 районов, для каждого из которых построены свои зависимости. На рис. 2 приведена зависимость лишь для трех районов: Приильменской низменности, Валдайской возвышенности и Верхневолжской низменности.

Первому району в физико-географическом отношении соответствует Приильменская низменность с высотами до 100 м, сложенная рыхлыми песчано-глинистыми породами. На Приильменской низменности распространены озера, имеющие остаточное (реликтовое) и вторичное (болотное) происхождение. К остаточным водоемам относятся: Ильмень, Рдейское, Должино, Тигода, Липово и др.

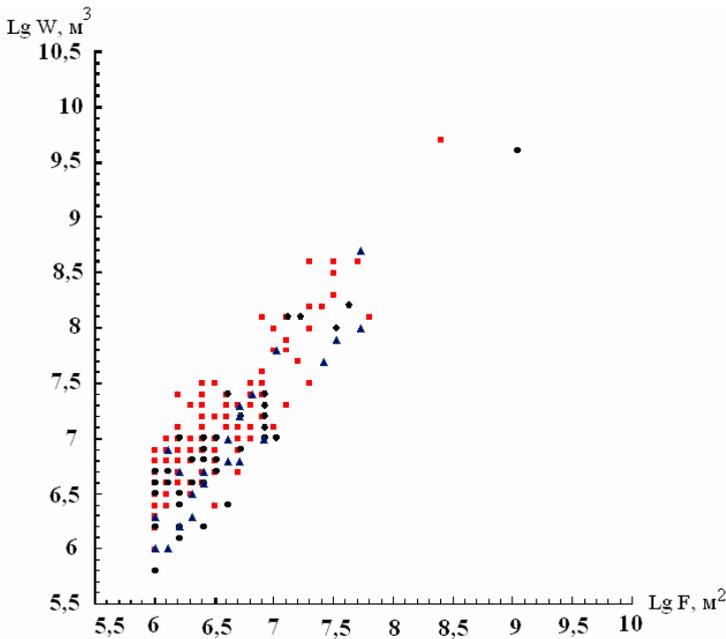


Рис. 2. Зависимость объемов ( $W$ ) воды в озерах от размеров их площади ( $F$ ).  
 ● – 1-й район; ■ – 2-й район; ▲ – 3-й район

Второй район представлен Валдайской возвышенностью, являющейся краевой зоной валдайского ледника. Высота над уровнем моря больше 200 м. Она приурочена к карбонному плато, сложенному известняками нижне- и среднекаменноугольного возраста. В состав Валдайской возвышенности включаются: Лужская, Судомская и Бежаницкая возвышенности. Происхождение озерных котловин разнообразно. Широко распространены озера в межхолмных понижениях ледникового происхождения (Селигер, Велье и др.). Также много озер и доледникового происхождения.

Третий район – область Московского оледенения и представлен Верхневолжской низменностью (80–180 м). Это слабохолмистая равнина, сложенная мореной и перекрытая суглинками, местами осложненная грядами холмов. В данном районе озера более древние, существенно заилены. Формирование котловин большинства водоемов связано с деятельностью ледника (Плещеево). Широко распространены озера-старицы. Остаточные (реликтовые) озера располагаются среди болотных массивов (Петровско-Оршинская группа).

Озера всех названных районов относятся к разным зонам. Первый район относится к проксимальной (внутренней) зоне, которая простирается в северном и северо-западном направлениях от Валдайской возвышенности. Второй район – зона краевых ледниковых образований, главный конечно-моренный пояс. Третий район располагается южнее Валдайской возвышенности в зоне более древнего Московского оледенения.

Остальные выделенные районы также различаются природными условиями и видом зависимостей  $W = f(F)$ . Четвертый и пятый районы относятся к внутренней зоне, а шестой – к дистальной (внешней).

Четвертый район занимает Псковскую низменность с высотами до 130 м. Это слабоволнистая озерно-ледниковая равнина. Здесь находится самое крупное Псковско-Чудское озеро. Котловина этого водоема относится к доледниковому типу. Остаточными также являются озера: Орша, Вехно, Белогули и др.

Пятый район – зандровая равнина (Себежские и Великолукские гряды с высотами 120–180 м). Территория отличается высокой озерностью. Большинство озерных котловин относятся к ледниковому типу. Они имеют овально-лопастную форму, берега невысокие, пологие, дно плоско-вогнутое или волнистое (Себежское, Жижицкое, Двинье и др.).

Шестой район включает в себя Молого-Шекснинскую низменность с абсолютными высотами 100–180 м. Эта приподнятая, слабоволнистая моренная равнина полого понижается к востоку, в сторону долины р. Мологи. Здесь много водораздельных озер и болот. Много озер ледникового происхождения (Великое, Бродское, Коробожа, Меглино, Игорь, Сокольник). Также встречаются карстовые озера (Городно, Сухое, Ямное и другие) [6, 10].

Для оценки тесноты связи между исследуемыми значениями  $W$  и  $F$  использовался метод линейной регрессии с вычислением коэффициента корреляции  $r$ . Надежность полученного значения коэффициента корреляции зависит от его вероятной погрешности  $E_r$ .

В результате расчетов получены следующие оценки (табл. 1).

Таблица 1

№ района	$r$	$\sigma$
1	0,91	$\pm 0,02$
2	0,87	$\pm 0,01$
3	0,92	$\pm 0,02$
4	0,93	$\pm 0,01$
5	0,86	$\pm 0,02$
6	0,83	$\pm 0,03$

Таким образом, значения коэффициентов корреляции свидетельствуют о достаточно тесной связи между площадью и объемом в выделенных озерных районах.

Учитывая относительно небольшой диапазон площадей озер, полученные зависимости представлены прямыми линиями, к каждой из которых подобраны уравнения.

С помощью таких графиков и формул можно приближенно получить значения объема и средней глубины для неизученных озер, но при известных значениях площади. Площади озер можно определить по географическим картам.

Аналогичные работы, основанные на других подходах, выполнены, например, для Карелии [9].

## Заключение

Анализ морфометрических характеристик озер, выявление аналогии в соотношениях площадей и глубин, с учетом генетического типа котловин, дают возможность приближенно определить водные ресурсы неизученных озер, рассчитать интенсивность внешнего водообмена и получить другие морфометрические характеристики, а также выбрать оптимальные направления их использования в различных хозяйственных отраслях.

Полученные данные дают возможность оценить тип озер данного района по транзитно-аккумулятивным возможностям. В качестве критерия доли транзита выбран критерий Б.Б. Богословского [с. 499]. На данной территории можно выделить три типа озер: транзитно-аккумулятивные, аккумулятивно-транзитные и аккумулятивные.

## Литература

1. Антонова Р.В. Использование морфометрических характеристик озер в экологических целях // Мат-лы 12-й междунар. конф. молодых ученых «Человек. Природа. Общество. Актуальные проблемы». – СМУ, 2001, с. 239-242.
2. Догановский А.М. Пространственные закономерности строения озерных котловин. В сб.: География и смежные науки. LIX Герценовские чтения. – СПб.: Тесса 2006, с. 15-22.
3. Догановский А.М., Малинин В.Н. Гидросфера Земли. – СПб.: Гидрометеиздат, 2004. – 630 с.
4. Истомина Э.Г., Яковлев З.М. Голубое диво: Историко-географический справочник о реках, озерах и болотах Новгородской области. – Л.: Лениздат, 1989. – 222 с.
5. Лесненко В.К. Морфология и генезис озер Полистовского болотного района. Мат-лы научн. конф. «Природа и хозяйственное использование озера Ильмень и Ильмень-Волховского бассейна». – Новгород, 1970, с. 103.
6. Лесненко В.К., Слинчак А.И., Абросов В.Н. и др. Природа озер Полистовского болотного ландшафта и перспективы их рыбохозяйственного использования. – Л., 1988.
7. По голубым просторам. Реки и озера средне-русской полосы / Под ред. Л. Крекшина. – М.: Московский рабочий, 1965. – 224 с.
8. Рянжин С.В. Новые оценки глобальной площади и объема воды естественных озер Мира // Доклады АН, сер. География, 2005, т. 400, № 6, с. 808.
9. Сало Ю.А., Потахин М.С., Толстиков А.В. Расчет средней глубины озер при отсутствии батиметрических данных (на примере водоемов Карелии). Материалы ежегодной международной научно-практической конференции «География: Проблема науки и образования. LXIII Герценовские чтения». – СПб., 2010, с. 409-412.
10. Сорокин И.Н. Озера различных ландшафтов северо-запада СССР. Ч. 1. Гидрологические особенности озер и ландшафтная характеристика их водосборов. – Л.: Наука, 1968. – 122 с.
11. Чукленкова И.Н. Морфометрические исследования древнеледниковой морфоскульптуры. – М.: Наука, 1982. – 75 с.