

УДК 556.33

## РЕЖИМ КАРСТОВЫХ И ЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР КАРБОНОВОГО ПЛАТО ТИХВИНСКОЙ ГРЯДЫ СЕВЕРО-ЗАПАДА РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2019 г. К. В. Белов<sup>1,\*</sup>, П. А. Игнатов<sup>1,\*\*</sup>, Е. Ю. Горюнов<sup>1,\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, ул. Миклухо-Маклая, 23; Москва, 117997, Россия

\*E-mail: kostik-belowne@rambler.ru,

\*\*E-mail: petrignatov@gmail.com,

\*\*\*E-mail: eyugoryunov@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.07.2018 г.

После исправления 12.12.2018 г.

На основании дешифрирования летних космоснимков по годам в период с 1984 по 2016 г. вычислены площади трех карстовых и двух ледниковых озер, расположенных в пределах каменноугольного плато Тихвинской гряды. Установлена разная динамика изменения площадей карстовых и ледниковых озер за 33-летний период. Выявлены согласованные изменения площадей карстовых озер, отражающие понижения или подъемы их уровней. Эти изменения не соответствуют количеству ежегодных атмосферных осадков, что указывает на существенное участие в питании карстовых озер подземных вод единого карстового водоносного комплекса каменноугольных отложений, слагающих карбонный уступ. Изменения площадей ледниковых озер за тот же период не контрастные, не соотносятся с изменениями площадей карстовых озер и связаны с ежегодными атмосферными осадками. Предполагается, что причиной периодического наполнения и обмеления карстовых озер являются современные тектонические блоковые движения, обуславливающие изменения проницаемости пород карстового водоносного комплекса.

**Ключевые слова:** карбонный уступ, карст, карстовые озера и реки, неотектонические движения, дешифрирование космоснимков.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019221-29>

Территория исследований находится на северо-западе Русской равнины в пределах центральной части Тихвинской гряды, являющейся водоразделом рек, текущих на северо-запад (Рядань, Тихвинка, Воложба, Сясь, Лининка, Рагуша, Пярдомля) в сторону Ладожского озера и на юго-восток в сторону Рыбинского водохранилища (Тушемелька, Чагода). В административном отношении исследуемая площадь находится в пределах Любытинского района Новгородской обл. и Бокситогорского района Ленинградской обл.

На рассматриваемой территории известны озера, площади которых достаточно быстро (месяцы, годы) и существенно изменяются. При этом вода в озерных котловинах может полностью исчезнуть или их наполнить в большом объеме. По отдельным наблюдениям, соответствующие резкие понижения и подъемы урезов воды в таких озерах

никак не соотносились с сезонными периодами паводков, половодья или межени. Для выяснения гидрорежима озер необходимо рассмотреть особенности геологического строения и гидрогеологических условий района. Феномен осушения и, что особенно интересно, последующего наполнения озерных котловин, очевидно, связан с режимом карстовых вод и представляет научный интерес. В практическом отношении такие озера могут стать важными туристическими объектами.

### ГЕОГРАФО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Описываемый район – часть водораздельной равнины, сложенной терригенно-карбонатными породами каменноугольной системы, перекрытыми с поверхности маломощным чехлом четвер-

тичных отложений (2-3, редко до 10 м)<sup>1,2</sup>. Территория с северо-запада ограничена протяженным крутым карбонным уступом или глинттом, в основании которого находится региональная эрозионная поверхность структурно-стратиграфического несогласия между нижнекаменноугольными и верхнедевонскими отложениями<sup>3</sup> [1, 2, 9 и др.]. Тихвинская гряда разделяет два бассейна отмеченных выше рек (рис. 1).

Климатические условия, выровненный рельеф и почти повсеместное распространение моренных глинистых отложений благоприятствуют накоплению атмосферных осадков и формированию обширных болот. Кроме современных болотных отложений, в районе широко распространены ледниковые моренные суглинки и супеси, в меньшей мере флювиогляциальные пески, ледниково-озерные пески и глины осташковского горизонта неоплейстоцена [5]. Восточнее и западнее Тихвинской гряды рельеф местности асимметричный. На северо-востоке относительные превышения от края карбонного уступа вблизи г. Бокситогорск с абс. отм. 120 м до водораздела Шибковские озера (истоки р. Чагода) с абс. отм. 208 м на протяжении 10 км составляют 88 м, гидравлический уклон равен 0.0088, что обуславливает значительные потоки грунтовых вод на северо-запад. Уклон поверхности на юго-востоке от водораздела меньше и на протяжении 10 км равен 0.0027, что определяет меньшую интенсивность грунтового водообмена.

Рассматриваемая территория входит в район бассейна р. Мсты, который отличается наличием элементов альпийского рельефа: новейшими поднятиями, крутыми продольными профилями рек и их V-образными долинами (см. сноски 1, 2) [4, 5, 8]. Об активных современных блоковых движениях свидетельствует и сам протяженный карбонный уступ, высота которого достигает 40 м. Тихвинская гряда является отражением крупного валообразного северо-восточного неоген-четвертичного поднятия.

Общий объем грунтовых вод значительный. В северо-западной части Тихвинской гряды статические ресурсы грунтовых вод при условных значениях мощности грунтового горизонта 2 м, протяженности от р. Тихвинка до р. Сясь 37 км, ширине 10 км и пористости 0.1 д.е. можно оценить в  $7.4 \cdot 10^7$  м<sup>3</sup>. Такой объем грунтовых вод в 2 раза превышает примерный суммарный объем вод 17

карстовых озер, располагающихся на этой территории ( $3.4 \cdot 10^7$  м<sup>3</sup>), при их средних глубинах 2 м и площадях по 1 км<sup>2</sup>. Можно предположить, что грунтовые воды в значительной мере должны пополнять ресурсы карстовых водоносных горизонтов.

В работах Галушко З.И., Николаева А.С., Покровской М.В., Чикишева А.Г. и др. рассмотрены карстовые явления, широко распространенные в пределах Карбонного плато. Рассматриваемая площадь в целом соответствует Пикалевскому участку Тихвинского карстового района [9]. Закарстованы карбонатные породы верхнего девона, нижнего и среднего карбона и в значительной степени породы каменноугольных михайловского, веневского, протвинского и мячковского горизонтов, сложенные разнообразными известняками с прослоями мергелей, доломитов, глин и песков [1, 2, 4, 5, 7-9]. В районе р. Мсты известна самая протяженная в центральной части Русской платформы карстовая пещера Понеретка [7].

Карстовое происхождение имеют сухие участки русел рек Ленинка, Черенки, Рагуша, Пярдомля; наиболее крупный из них располагается на р. Рагуше, близ д. Рудная Горка. Во время неоген-четвертичных поднятий и образования карбонного уступа происходило формирование эрозионной сети и развитие карстового процесса. В настоящее время имеются большие объемы карстовых подземных вод [5, 7-9].

Формирование в неоген-четвертичное время активных поднятий района активизировало повышенную трещиноватость в осевых зонах субмеридиональных флексур, сложенных девон-каменноугольными толщами (рис. 2). Это обусловило интенсивное развитие тектоно-эрозионного карста. На дне крупных карстовых озер имеются воронки, в которые временами уходит озерная вода (рис. 3).

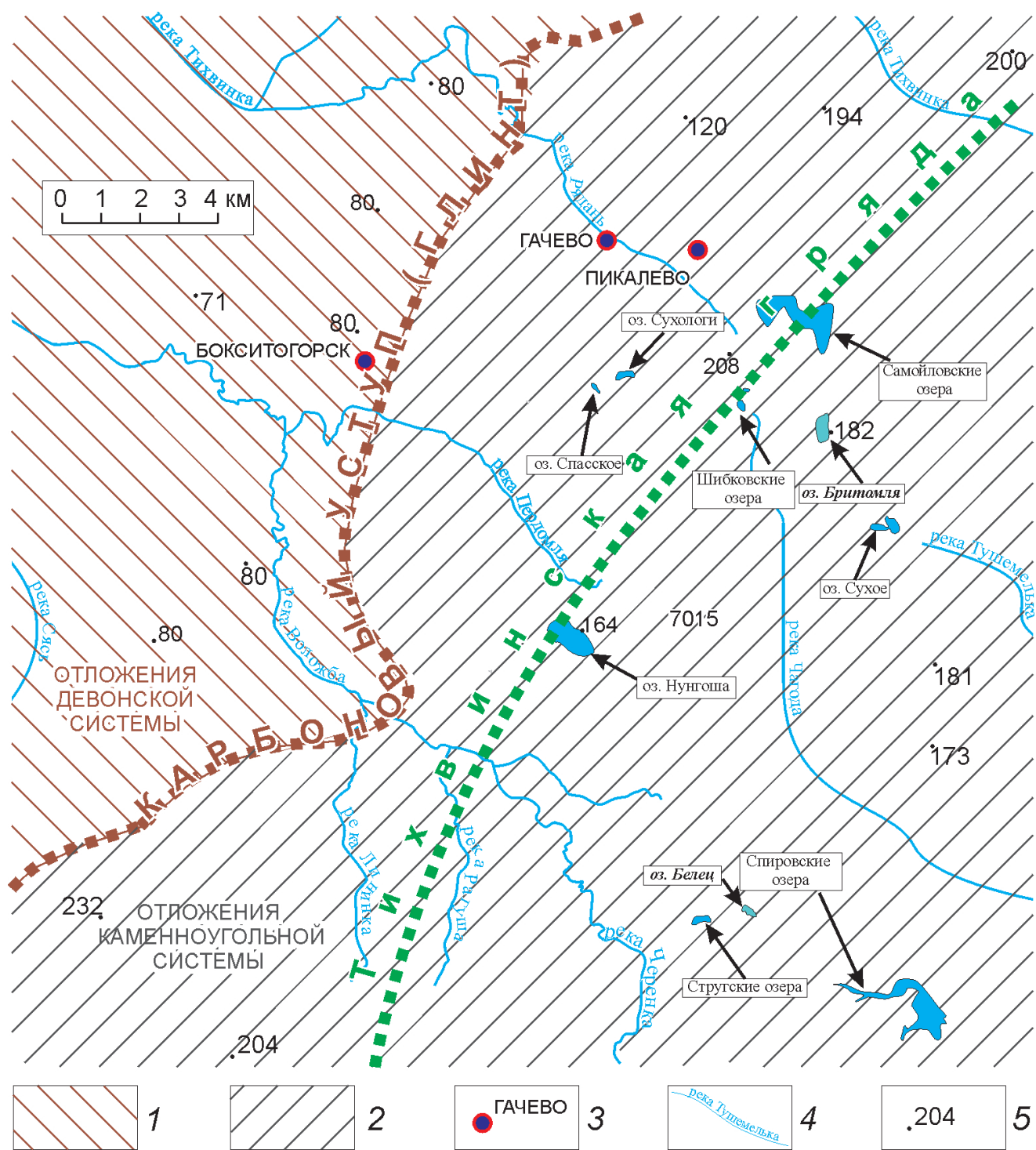
В пределах рассматриваемой площади к карстовым относятся озера Нунгоша, Спасское, Стругское, Сухое, Сухологи, Спировские, Самойловские, Шибковские и другие. Все они периодически (месяцы) мелеют, и в ряде случаев на дне озер обнажаются крупные карстовые воронки. После частичного или полного обмеления в течение нескольких месяцев озера снова заполняются водой. Карстовые озера располагаются в местах отсутствия четвертичных глинистых отложений и, очевидно, гидравлически связаны с карстовыми подземными водами. Характерно, что эти места локализованы над флексурами, которые испытали новейшие поднятия.

На расстоянии от 2 до 6 км от карстовых озер находятся и озера с относительно постоянными уровнями (например, Бритомля или Белец). Ложе таких озер заключено в четвертичных отложениях.

<sup>1</sup> Александрова А.Н., Свербенкова Е.Ф. Государственная геологическая карта. Листы О-36-IV, О-36-V, О-36-X, О-36-XI. Северо-западное геологическое управление. 1969.

<sup>2</sup> Кямья В.В., Мохов В.В., Плещивцева Э.С., Сулов Г.А. Карта четвертичных образований масштаба 1:100000. Геоморфологическая схема масштаба 1:2500000. Государственная геологическая карта РФ. Листы Q-35 (N=35), O-36. СПб.: Роснедра, 2012.

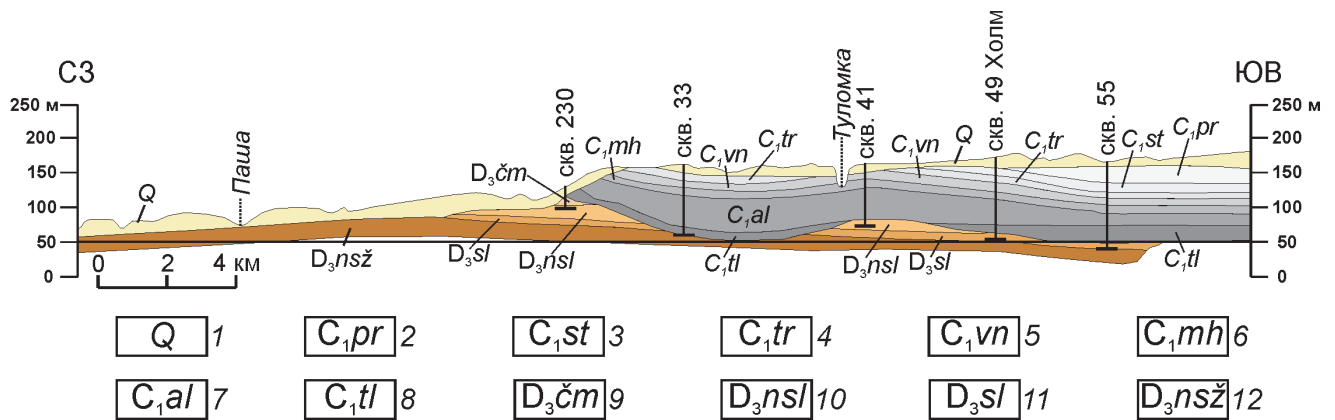
<sup>3</sup> Гидрогеология СССР. Т. III. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. М.: Недра, 1967. 328 с.



**Рис. 1.** Схема геологического строения района Тихвинской гряды (составлена по Государственной геологической карте, см. сноску 1): отложения: 1 – девонской системы, 2 – каменноугольной системы; 3 – населенный пункт и его название; 4 – река и ее название; 5 – абсолютные отметки рельефа, м.

Авторы считают эти озера ледниковыми и изолированными от каменноугольных пород, подверженных карсту. Их питание осуществляется атмосферными осадками, поверхностными водотоками и грунтовыми водами.

Следует отметить разные уровни карстовых и близлежащих ледниковых озер. Например, на топокарте 1999 г. (1:100 000) абс. отм. уровня оз. Бритомля – 183.9 м, а расположенного в 2 км западнее южного Шибковского озера – 189.6 м,



**Рис. 2.** Фрагмент геологического разреза широтного направления (см. сноску 1): 1 – Четвертичные отложения. Пески, глины, суглинки; 2 – Протвинский горизонт. Доломиты и доломитизированные известняки, внизу глины, реже пески; 3 – Стешевский горизонт. Известняки и доломиты с прослоями глин; 4 – Тарусский горизонт. Известняки, реже доломиты, внизу глины и пески; 5 – Веневский горизонт. Известняки и доломиты с прослоями мергелей и глин; 6 – Михайловский горизонт. Глины и пески, сверху и внизу известняки, доломиты; 7 – Алексинский горизонт. Глины, пески и алевриты с прослоями известняков; 8 – Тульский горизонт. Глины, часто углистые. бокситовые породы, бокситы и огнеупорные глины; 9 – Чимаевский горизонт. Глины, известковистые известняки, мергели, песчаники, пески; 10 – Надсмотинско-ловатский горизонт. Глины, пески, алевриты, песчаники; 11 – Смотинско-ловатский горизонт. Глины известковистые, известняки, мергели, песчаники, пески; 12 – Надснежский горизонт. Глины, пески, алевриты, песчаники.

оз. Белец – 178 м, а соединяющегося с ним протокой и находящегося в 1.7 км на юго-запад оз. Стругское – 175.1 м. Возвышения в радиусе первых километров от озер имеют отметки 203-208 м на севере и до 233 м на юге рассматриваемой территории.

Реки на данной территории имеют непроработанные долины, в связи с тем, что располагаются на поверхности регионального плоского водораздела, который в настоящее время подвержен активным денудационным процессам. По этой причине старичных озер, соединенных с руслом или являющихся его расширением, на территории не зафиксировано. Однако некоторые из названных

объектов исследования соединяются между собой узкими неширокими протоками.

### АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ И ОБЪЕМОВ ОЗЕР ВО ВРЕМЕНИ

Судя по геологическим разрезам и топооснове масштаба 1:100 000, все рассматриваемые озера мелководные с глубиной до нескольких метров. Следовательно, изменения их площадей прямо отражают вариации их объемов. Для анализа изменений объема озер и возможных причин, вызывающих существенные вариации уровней в карстовых



**Рис. 3.** Обмелевшие карстовые озера: а – оз. Сухологи с воронками на дне, б – оз. Спасское с воронками и рыбой на дне. Фото Смирнова К.Е., август 2016 г.

озерах, выполнено дешифрирование космоснимков района, вычислены площади озер по годам за 33 года (1984–2016 гг.). Учтено годовое количество осадков, которое определялось по данным метеостанции, расположенной в г. Тихвин, на удалении 50 км от площади исследований. По полученным материалам построены графики зависимостей между величиной атмосферных осадков за год и вычисленных площадей озер.

Космоснимки территории взяты с открытого интернет-сервиса “Google Планета Земля”. Фото съемка местности производилась примерно в конце лета—начале осени, поэтому фактор сезонности в изменении площади озер сведен к минимуму. Авторы отдают себе отчет в необходимости обработки материалов космической съемки, максимально корректных по времени (дате) съемок, однако в настоящий момент не имеют возможности получить такие данные.

На полученных снимках поверхность водного зеркала уверенно дешифрируется, поэтому спектральные характеристики и пространственное разрешение фотокамеры не имеют существенного значения. В свободной геоинформационной системе Quantum GIS произведено вычисление площади озер на каждый год. Для анализа выбраны Спировские, Самойловские и Стругские карстовые озера и ледниковые озера Бритомля и Белец. Результаты вычислений приведены в таблице, в которой показаны соответствующие количества осадков (по данным метеостанции, расположенной в г. Тихвин, на удалении 50 км от площади исследований). Ввиду неудовлетворительного качества снимков не удалось определить площадь Самойловских озер на 1984 год и площади Спировских озер на 1992, 1993 и 1997 гг.

Для иллюстрации связи между величиной годового количества осадков и площадей озер построены соответствующие графики (рис. 4).

Во-первых, надо отметить принципиально разные режимы уровней карстовых и ледниковых озер. Режим карстовых озер существенно изменяется, что отражается в резком изменении их площадей и, соответственно, объема. Площади ледниковых водоемов год от года изменяются незначительно. Эти тренды прямо указывают на разные режимы питания двух типов озер. В питании карстовых озер существенное значение имеют подземные воды, в ледниковых — поверхностные и грунтовые воды, которых вполне достаточно для поддержки их стабильного режима.

Во-вторых, необходимо подчеркнуть неоднозначность изменений площадей карстовых озер от годового количества осадков. Есть прямые связи, например, в 1999–2001 и 2004–2006 гг. Но были

Площади озер (км<sup>2</sup>), рассчитанные по летним космоснимкам с 1984 по 2016 г.

Годы	Самойловские озера	Спировские озера	Стругские озера	Оз. Белец	Оз. Бритомля	Годовое количество осадков, мм
1984	-	6.337	0.385	0.18	0.533	763
1985	0.027	6.388	0.414	0.18	0.550	647.9
1986	0.127	6.408	0.471	0.19	0.520	664.3
1987	0.121	6.954	0.406	0.21	0.545	736.4
1988	0.040	6.334	0.541	0.19	0.552	774.9
1989	0.047	6.648	0.463	0.19	0.540	678
1990	0.041	6.459	0.512	0.18	0.529	844.9
1991	0.026	6.991	0.583	0.18	0.554	928.9
1992	0.027	-	0.567	0.18	0.540	693.3
1993	0.026	-	0.557	0.18	0.543	817
1994	0.790	7.194	0.754	0.19	0.536	708.3
1995	0.263	6.932	0.655	0.17	0.524	738.7
1996	0.085	6.988	0.616	0.19	0.545	503.8
1997	0.086	-	0.627	0.19	0.543	796.1
1998	0.699	7.011	0.697	0.19	0.579	728.1
1999	0.035	6.854	0.627	0.19	0.547	641
2000	0.205	6.566	0.702	0.20	0.575	834.9
2001	0.064	7.489	0.518	0.21	0.563	682.7
2002	0.346	7.952	0.757	0.20	0.607	586.7
2003	0.016	5.357	0.377	0.13	0.527	910.7
2004	1.288	8.044	0.991	0.21	0.543	994.5
2005	1.097	7.380	1.001	0.19	0.561	762.1
2006	0.070	6.434	0.778	0.19	0.554	681.7
2007	0.023	6.313	0.250	0.16	0.566	720.8
2008	0.580	6.532	0.804	0.21	0.566	727.9
2009	0.031	6.266	0.572	0.21	0.547	841.5
2010	0.657	7.465	0.819	0.18	0.554	714.5
2011	0.473	7.478	0.874	0.20	0.533	888.6
2012	0.534	7.936	0.936	0.21	0.577	682.2
2013	0.051	6.909	0.580	0.20	0.545	651.9
2014	0.025	5.840	0.299	0.20	0.517	762.6
2015	0.033	4.722	0.364	0.19	0.522	736.6
2016	0.464	5.863	0.687	0.19	0.547	705.1

и обратные соотношения, особенно показательны увеличения объема карстовых озер в сильную засуху в Центральных районах России 2010 г. Это прямо указывает на участие карстовых подземных вод, которые разгружались в карстовых воронках — локальных очагах разгрузки.

В-третьих, надо отметить согласованность изменения площадей всех карстовых озер во времени (рис. 5). При этом степень контрастности их вариаций

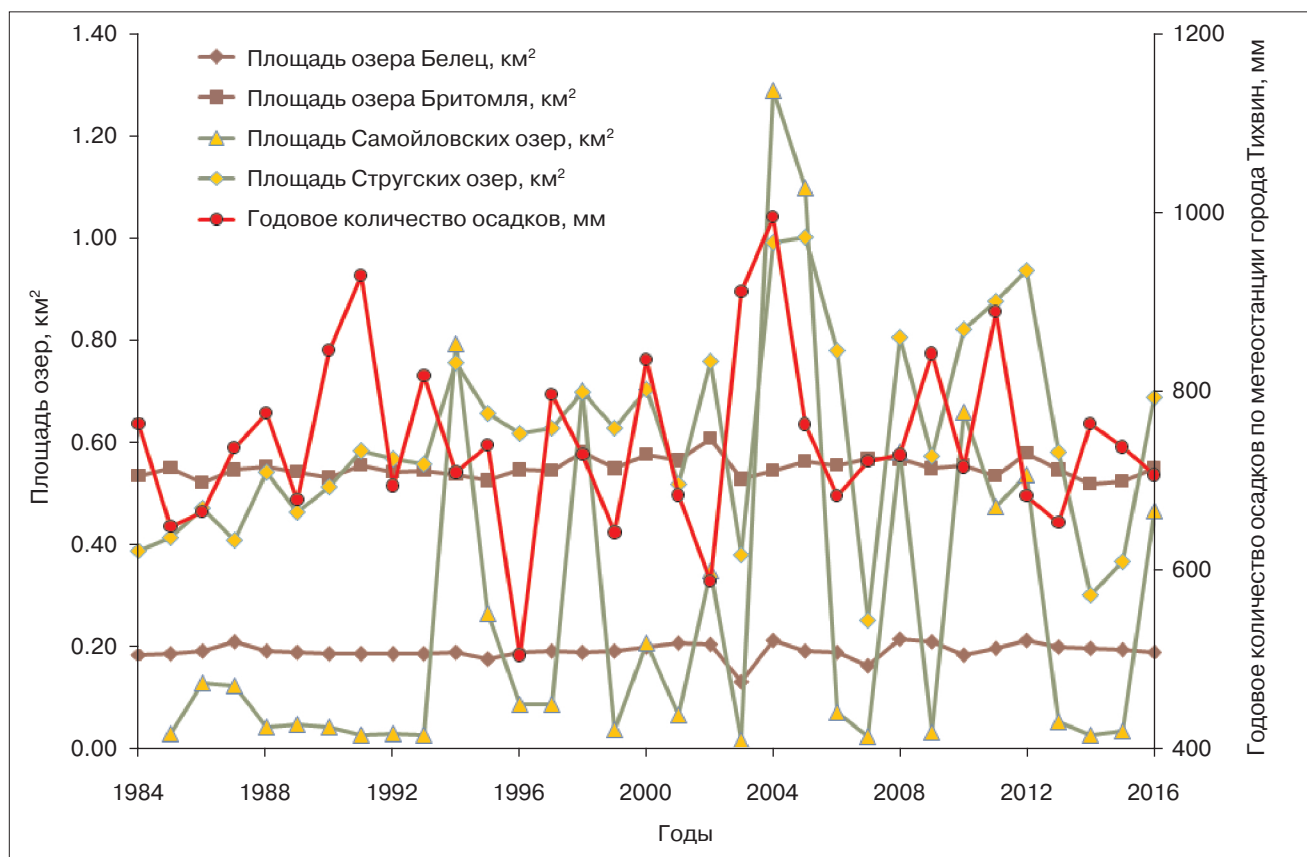


Рис. 4. Диаграмма изменений площадей озер Белец, Бритомля, Самойловских и Стругских озер и годового количества атмосферных осадков.

отчетливо связана с размерами озер. Чем больше озера, тем менее контрастные изменения их площадей. Так, площадь небольших озер увеличивается от 4 до 65 раз, в то время как крупные Спиоровские озера изменяются менее чем в 2 раза – от 4.72 до 8.04 км<sup>2</sup>. Возможно, питание небольших карстовых озер происходит главным образом за счет подземных вод.

В-четвертых, в согласованных изменениях площадей карстовых озер отмечается некоторая периодичность. Так, с 1984 по 1993 г. площади озер относительно слабо менялись, а в последующие 24 года изменения стали весьма контрастными с двух-трехлетними минимумами и максимумами. Например, Самойловские озера имели минимальный уровень (площадь) в периоды 1991–1993, 1996–1997, 1999–2001, 2006–2009, 2013–2015 гг. Максимально стабильные уровни воды в озерах наблюдались в 1994, 1998, 2002, 2004, 2008, 2010, 2012, 2016 гг.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выявленные вариации площадей (объема) озер на рассматриваемой территории можно объяснить следующим образом. Относительная стабильность уровней ледниковых озер Бритомля

и Белец следует связать с их устойчивым питанием большими объемами поверхностных и грунтовых вод обширных верховых болот. Поэтому годовые изменения количества осадков не приводят к заметному подъему или спаду уровней озер, но имеется отчетливая прямая связь количества атмосферных осадков и увеличения площадей озер.

Независимый от количества атмосферных осадков и согласованный режим изменения площадей карстовых озер указывает на преобладание или существенное влияние подземных вод единого водоносного комплекса на их питание. Резкие обмеления таких озер, вероятно, обусловлены дренажем вод через карстовые воронки и полости и зоны открытых крутопадающих трещин в осевых частях флексур в нижние коллекторы до местного базиса эрозии, расположенного у подножья карбового уступа. Высокую скорость движения подземных вод на северо-запад обуславливает достаточно большой гидравлический градиент. Однако падение на юго-восток крыльев флексур на площади Карбового плато и имеющийся уклон поверхности на юго-восток водораздела Тихвинской гряды вполне может существенно замедлять

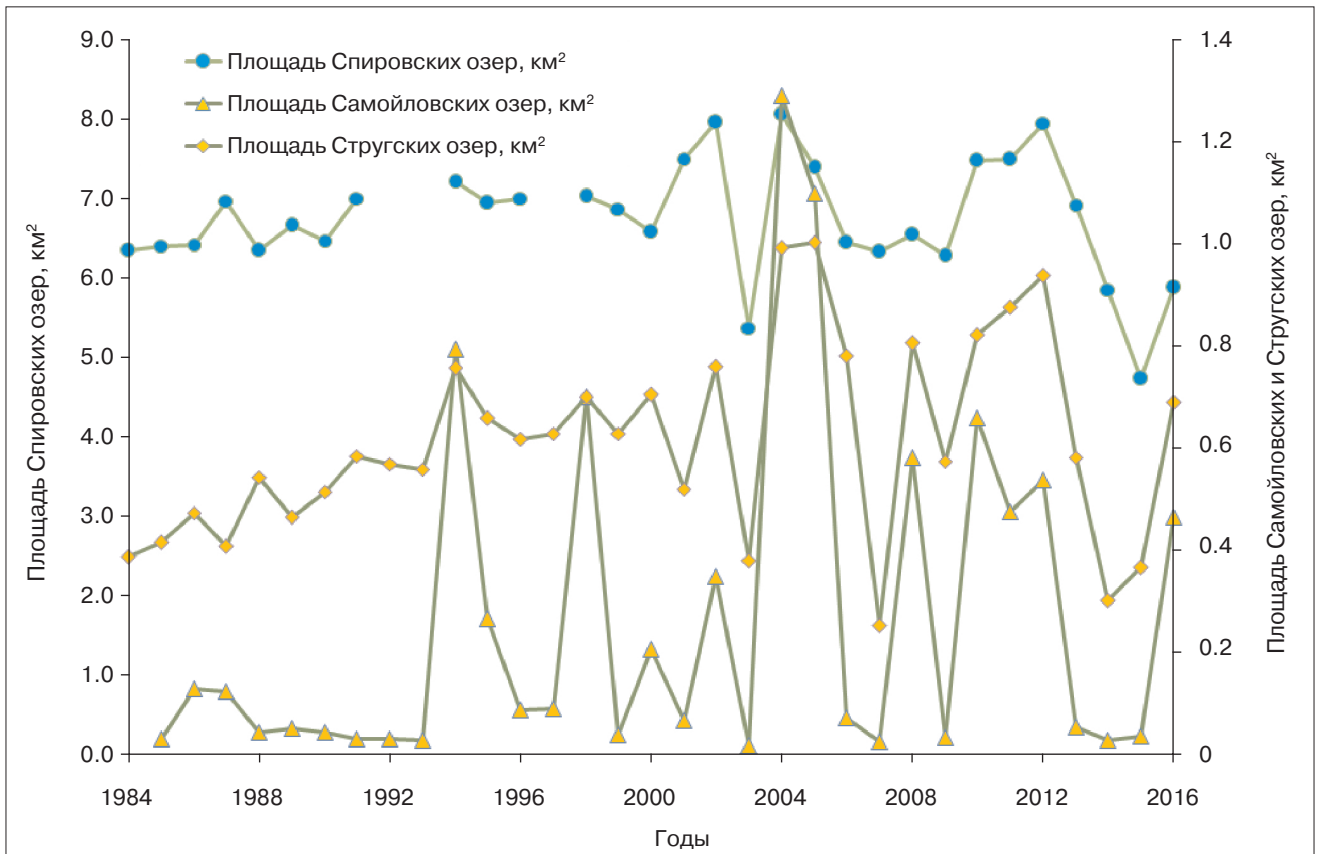


Рис. 5. Диаграмма изменений площадей карстовых озер во времени.

движение карстовых подземных вод на юго-запад и даже направлять их по падению на юго-восток.

Наличие местных глинистых водоупоров в разрезе каменноугольных отложений и верхнего водоупора в виде моренных глин может быть причиной формирования небольших напоров в водоносных горизонтах. Особенно интересны самые верхние горизонты каширских известняков, кровля которых расположена на 20–25 м (абс. отм. 200–205 м) выше урезов воды рассматриваемых карстовых озер (абс. отм. 185 м). Еще большие объемы карстованных каменноугольных и, возможно, карбон-пермских пород залегают на возвышениях с отметками до 233 м. Объемов карстовых вод этих горизонтов вполне хватает для заполнения рассматриваемых карстовых озер. Следовательно, на возвышениях, обрамляющих карстовые озера, надо предполагать наличие значительных емкостей, приуроченных к закарстованным породам.

Самый сложный вопрос заключается в объяснении существенного периодического повышения уровней карстовых озер после их резкого обмеления.

Наполнение карстовых озер следовало бы связать с увеличением объема карстовых подземных вод за счет накопленных атмосферных осадков за

ряд предшествующих многоводных лет. Однако этому противоречат следующие данные. Во-первых, явное несоответствие градиентов изменения площадей озер с преимущественным питанием карстовыми водами в десятки раз (Самойловские озера) и среднегодового количества атмосферных осадков, достигавших 46% (см. табл.). Во-вторых, трудно себе представить, что в условиях хорошего дренажа в засушливые сезоны останутся значительные статические запасы карстовых вод в относительно небольших линзах известняков нижнего карбона, расположенных выше карстовых озер. В третьих, с этих позиций нет объяснения двух-, трех- и 12-летней периодичности обмеления и наполнения карстовых озер.

В качестве предположения резкие изменения объемов карстовых озер, расположенных на водоразделе Карбонового плато, можно связать с современными тектоническими движениями, которые характерны для рассматриваемого района.

Главным механизмом дренажа или заполнения карстовых озер авторы предполагают периодическое увеличение и уменьшение раскрытия трещин в крутопадающих тектонических зонах приосевых частей флексур.

Процессы заполнения и обмеления озер могут быть обусловлены эпизодическими, мало амплитудными современными тектоническими движениями района. В моменты кратковременных положительных движений регионального валообразного поднятия карбонового плато вертикальные трещины приоткрываются, что дает возможность быстрого дренажа карстовых озер. Во время остановок и относительных отрицательных движений трещины в глинистых породах закрываются, происходит наполнение озер грунтовыми и карстовыми водами.

Динамику этих процессов должны усложнять крупноблоковые движения самого карбонового уступа с периодическими наклонами на северо-запад или юго-восток. В совокупности региональные и мелкоблоковые современные тектонические движения определяют направления и скорость движения карстовых вод.

Косвенным подтверждением современных изменяющихся тектонических напряжений в верхней части осадочного чехла являются данные инструментальных замеров горизонтальных расстояний в горных выработках Урала. Авторы работы [3] связывают вариации напряженного состояния недр Земли с периодичностью солнечной активности, включая 12-летние циклы. О существовании современных горизонтальных движений говорят и данные космической геодезии по станциям GPS, и анализ сейсмических данных, в том числе и на севере Восточно-Европейской платформы [6]. Изменяющиеся горизонтальные напряжения зафиксированы по замерам в скважинах на Ромашкинском нефтяном месторождении, расположенном на Татарском своде восточной части платформы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные материалы позволяют сделать следующие выводы.

Установлено наличие на Карбоновом плато (Ленинградская обл.) озер 2 типов — ледниковых и карстовых, различающихся режимом изменений их площадей и, соответственно, объемов во времени.

Изменения площадей ледниковых озер на протяжении последних 36 лет небольшие и коррелируют с количеством атмосферных осадков. Площади карстовых озер изменяются согласованно, периодически и значительно (до десятков раз), не соответствуя среднегодовым количествам атмосферных осадков.

Высказана гипотеза о ведущей роли современных тектонических напряжений, обуславливающих закрытие/открытие тектонических трещин и разную скорость фильтрации карстовых подземных вод.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаров В.В. Огнеупорные глины Боровичско-Любытинского района. М.: Metallurgizdat, 1952. 235 с.
2. Желтов П.И., Лапина Н.Н. Гидрогеология карста районов шахтного и рудничного строительства Европейской части СССР. Л.: ВСЕГЕИ, 1941. 106 с.
3. Зубков А.В., Зотеев О.В., Смирнов О.Ю. и др. Закономерности формирования напряженно-деформированного состояния земной коры Урала во времени // Литосфера. 2010. № 1. С. 84-93.
4. Иванов Я.И. Гидрология бассейна карстовой реки Пярдомли. Исследование рек в СССР / Под ред. В.М. Родевича. Сб. статей. Вып. 6. Л.: Гос. Гидрол. ин-т, 1933. 130 с.
5. Киселев И.И., Проскуряков В.В., Саванин А.И. Геология и полезные ископаемые Ленинградской области. СПб.: Петербургская комплексная геологическая экспедиция. 1997. 194 с.
6. Кутинов Ю.Г., Боголицын К.Г., Чистова З.Б. Исследования северных территорий России из космоса // Проблемы, свойства, состояние, возможности на примере МКС "Арктика". Т. 2. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 270 с.
7. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Т. 2. Пермь: Пермское книжное издательство, 1963. 525 с.
8. Широкова В.А., Снытко В.А., Низовцев В.А. и др. Тихвинская водная система: ретроспектива и современность. Гидролого-экологическая обстановка и ландшафтные изменения в районе водного пути. Экспедиционные исследования: состояние, итоги, перспективы. М.: ООО "Акколитъ", 2013. 376 с.
9. Чикишев А.Г. Карст Русской равнины. М.: Наука, 1978. 190 с.

## REFERENCES

1. Goncharov, V.V. *Ogneupornye gliny Borovichsko-Lyubytinskogo raiona* [Refractory clay of the Borovichi and Lyubytinsky region]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1952, 235 p. (in Russian)
2. Zheltov, P.I., Lapina, N.N. *Gidrogeologiya karsta raionov shahtnogo i rudnichnogo stroitel'stva Evropeiskoi chasti SSSR* [Hydrogeology of karst in the areas of mine work construction in the European part of the USSR]. Leningrad, VSEGEI Publ., 1941, 106 p. (in Russian)
3. Zubkov, A.V., Zoteev, O.V., Smirnov, O.Yu. et al. *Zakonomernosti formirovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zemnoi kory Urala vo vremeni* [Regularities of formation of the stress-and-strain state of the Earth's crust in the Urals in time. *Litosfera*, 2010, no. 1, pp. 84-93. (in Russian)



4. Ivanov, Ya.I. *Gidrogeologiya basseina karstovoi reki Pyardomli. Issledovanie rek v SSSR* [Hydrology of the karstic Pyardomli River basin. Research of rivers in the USSR]. Rodevich, V.M., Ed., Collection of articles. Leningrad, Gos. Hidrolog. Institut Publ., 1933, is. 6, 130 p. (in Russian)
5. Kiselev, I.I., Proskuryakov, V.V., Savanin, A.I. *Geologiya i poleznye iskopaemye Leningradskoi oblasti* [Geology and minerals of the Leningrad Region]. St. Petersburg, *Peterburgskaya kompleksnaya geologicheskaya ekspeditsiya*, 1997, 194 p. (in Russian)
6. Kutinov, Yu.G., Bogolitsyn, K.G., Chistova, Z.B. *Issledovaniya severnykh territorii Rossii iz kosmosa: problemy, svoystva, sostoyanie, vozmozhnosti na primere MKS "Arktika"* [Studies of the Russian northern territories from space: problems, properties, state, and opportunities by the example of Arctic ISS]. Yekaterinburg, RIO UrO RAN Publ., 2012, vol. 2, 270 p. (in Russian)
7. Maksimovich, G.A. *Osnovy karstovedeniya* [Fundamentals of karstology]. Perm, Perm book publ., 1963, vol. 2, 525 p. (in Russian)
8. Shirokova, V.A., Snytko, V.A., Nizovtsev, V.A., Frolova, N.L., Dmitruk, N.G., Chesnov, V.M., Ozerova, N.A., Shirokov, R.S. *Tikhvinskaya vodnaya sistema: retrospektiva i sovremennost'. Hidrologo-ekologicheskaya obstanovka i landshafnyye izmeneniya v raione vodnogo puti. Ekspeditsionnye issledovaniya: sostoyanie, itogi, perspektivy* [Tikhvin water system: past and present. Hydrological and ecological situation and landscape changes in the waterway area]. M., Akkolit Publ., 2013. 376 p. (in Russian)
9. Chikishev, A.G. *Karst Russkoi ravniny* [Karst of the Russian Plain]. Moscow, Nauka Publ., 1978, 190 p. (in Russian)

## REGIME OF KARST AND GLACIAL LAKES AT THE CARBONIFEROUS PLATEAU OF TIKHVIN RIDGE IN THE NORTHWEST OF THE RUSSIAN PLATFORM

K. V. Belov<sup>1,\*</sup>, P. A. Ignatov<sup>1</sup>, E. Yu. Goryunov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, ul. Miklukho-Maklaya, 23, Moscow 117485, Russia*  
\*E-mail: kostik-belowne@rambler.ru

The studied territory is restricted to the central part of Tikhvin Ridge composed of karstified terrigenous and carbonate deposits of Carboniferous age. The central part of the area is a flat watershed dividing the rivers flowing northwest to Lake Ladoga and those flowing southeast to the Rybinsk water reservoir. The considered territory lies within the Msta River basin subjected to the recent tectonic uplift, forming landforms of Alpine type. Considerable longitudinal sloping of rivers provide intense surface and subsurface runoff (the active hydrodynamic regime). In the considered territory, the lakes are known with their areas changing significantly and quickly enough (months or years). The water in lake basins may disappear or fill them back completely. According to observations, these abrupt decreases and rises in water level do not correlate with seasonal floods, high water and low water periods. The phenomenon of drying and (what is particularly interesting) subsequent filling of lake basins with water is obviously related to the karstic groundwater regime, which is of scientific interest. The up-to-date research data include state geological maps (scale 1:200 000); topographic maps (scale 1:100 000); space images of the free-access Google Planet Earth Internet service, taken in summer and autumn 1984-2016; and weather service data. Cartographic materials were processed in GIS. The analysis of collected data allowed us to distinguish between two types of lakes, i.e., those with insignificant and substantial changes in area with time. Water reservoirs of the first type located on water-permeable moraine Quaternary deposits are classified as glacial. Other lakes overlying immediately Carboniferous deposits, have funnels in the basin bottom and are considered as karstic. The areas of two glacial and three karstic lakes have been measured (by interpreting satellite images) within the central part of the Carboniferous plateau at the Tikhvin Ridge. Variation in the glacial lake areas in the span of 33 years were found to be not crucial, being directly related to annual atmospheric precipitation not correlating with the changing areas of karstic lakes. Karstic lakes reveal 2-, 3- and 12-year-long cycles of significant changes in areas. These changes show decreases and rises in their levels and volumes. They are correlated among all karstic lakes irrespective of the average annual volume of atmospheric precipitation. It points to the significant participation of groundwater in alimentation of karstic lakes belonging to a single karstic water-bearing complex of underlying Carboniferous deposits. Authors relate the recurrent shallowing and filling of karstic lakes to the modern alternating tectonic movements leading to variation in permeability of karstic groundwater-bearing deposits.

**Keywords:** *Carboniferous bench, karst, karstic lakes and rivers, neotectonic movements, deciphering of satellite images.*

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019221-29>