

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Литовский В.В.*

18. Grosswald, M.G. (1980), "Late Weichselian Ice Sheets of Northern Eurasia", *Quaternary Research*, vol. 13. pp. 1–32. [In English].

19. Lysa, A., Jensen, M.A., Larsen, E., Fredin, O. and Demidov, I.N. (2011), "Ice-distal landscape and sediment signatures evidencing damming and drainage of large pro-glacial lakes, northwest Russia", *Boreas*, vol. 40. pp. 481–497. [In English].

20. Mangerud, J., Jacobsson, M., Alexanderson, H., Astakhov, V., Clarke G.C.K., Henriksen, M., Hjort, C., Krinnerm, G., Lunkkja, J.-P., Moller, P., Murray, A., Nikolskaya, O., Saarnisto, M. and Svendsen, J.I. "Ice-dammed lakes and rerouting of the drainage of northern Eurasia during the Last Glaciation", *Quaternary Science Reviews*, 2004, vol. 23, pp. 1313–1332. [In English].

Поступила в редакцию: 26.10.2020

Сведения об авторах

Николай Николаевич Назаров

доктор географических наук, заведующий кафедрой физической географии и ландшафтной экологии, Пермский государственный национальный исследовательский университет; Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

About the authors

Nikolai N. Nazarov

Doctor of Geographical Sciences, Head of the Department of Physical Geography and Landscape Ecology, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

e-mail: nazarov@psu.ru

Сергей Владимирович Копытов

кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и ландшафтной экологии, Пермский государственный национальный исследовательский университет; Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Sergei V. Kopytov

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Physical Geography and Landscape Ecology, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

e-mail: kopytov@psu.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Назаров Н.Н., Копытов С.В. История перестройки русловых систем Камско-Кельтминской низменности в позднем плейстоцене – голоцене // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. №4(55). С. 6–17. doi 10.17072/2079-7877-2020-4-6-17.

Please cite this article in English as:

Nazarov, N.N., Kopytov, S.V. (2020). History of the channel systems reorganization in the Kama-Keltma lowland in the Late Pleistocene – Holocene. *Geographical bulletin*. No. 4(55). P. 6–17. doi 10.17072/2079-7877-2020-4-6-17.

УДК 911.37, 332.132

DOI: 10.17072/2079-7877-2020-17-29

ГРАВИОГЕОГРАФИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Владимир Васильевич Литовский

SPIN-код: 3384-6480

e-mail: vlitovskiy1@yandex.ru

Институт экономики Уральского отделения РАН, Екатеринбург

Для уяснения рациональности хозяйственного использования регионального природного капитала и геоэкологических аспектов пространственного размещения производительных сил приведены результаты изучения гравииогеографии водохранилищ Свердловской области. Исследование проводилось на основе комплексного рассмотрения водохозяйственной системы области с учетом статуса ее гидроузлов и водохранилищ в рамках одного или нескольких речных бассейнов. Установлено, что из 7 ключевых водохранилищ большая часть не отвечает условию компенсационного нагружения дневной поверхности для улучшения ее изостатического равновесия. Даже на территориях, где это возможно, т.е. имеется ресурс для компенсационного нагружения дневной поверхности весом тела водохранилища, в реальности

© Литовский В.В., 2020



*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Литовский В.В.*

создаются перегрузки, что обуславливает геоэкологические проблемы. Показано, что из изученных водохранилищ наиболее полно соответствует условию идеальной компенсации весом изостатического равновесия в зоне средних глубин – Рефтинское. Тем не менее для приплотинных участков всех изученных водохранилищ это условие не выполняется и теоретически допустимая нагрузкакратно превышена.

К л ю ч е в ы е с л о в а : гравиигеография, водохранилища, Урал, Свердловская область, производительные силы, геоэкология.

GRAVITY GEOGRAPHY OF RESERVOIRS IN THE SVERDLOVSK REGION

Vladimir V. Litovskiy

SPIN-code: 3384-6480

e-mail: vlitovskiy1@yandex.ru

Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg

The article presents the results of research into gravitational geography of reservoirs in the Sverdlovsk region used to clarify the rationality of the economic use of the regional natural capital and the environmental aspects of the spatial placement of productive forces. There was conducted a comprehensive study of the region's water system taking into account the status of its dams and reservoirs within one or several river basins.

It has been established that of 7 key reservoirs, most do not satisfy the condition of compensatory pumping of the day surface aimed at improving the isostatic equilibrium of the surface. In practice, overloads are created even where the necessary conditions exist, which causes geoecological problems. It is shown that the reservoir at Reft complies the most with the condition of ideal compensation with the weight of water to establish the ideal isostatic equilibrium, but only in the zone of medium depths. For dam sites in all the reservoirs studied, this condition is not met, and the oretically the permissible load is exceeded multiple times.

К е у w o r d s : gravity geography, reservoirs, Urals, Sverdlovsk region, productive forces, geoecology.

Введение

Водоохранилища, являясь искусственными водоемами с водоподпорными сооружениями для накопления и хранения воды в целях использования в народном хозяйстве, создают значительную весовую нагрузку на подстилающую поверхность. В зависимости от эндогенных и экзогенных факторов сама эта поверхность способна уплотняться или разуплотняться, совершать вертикальные и иные движения, иначе говоря, иметь различную степень изостатического равновесия, маркерами которого являются аномалии гравитационного поля. Последние характеризуют избыток (положительная аномалия) или недостаток (отрицательная аномалия) вещества на том или ином участке земной поверхности к идеальному условию ее равновесия. Таким образом, размещение искусственных водоемов на территориях с отрицательными гравитационными аномалиями будет способствовать приведению их в состояние идеального изостатического равновесия, а на территориях с положительными аномалиями, напротив, создавать дополнительный дисбаланс и стимулировать препятствующие этому геодинамические, а в целом, биогеохимические процессы.

В большей мере учет таких эффектов важен для объединенных водохозяйственных систем, где даже один неправильно функционирующий элемент может обесценивать хозяйственное значение всей системы.

Именно поэтому в данной работе водохранилища и водохозяйственные системы Свердловской области были изучены на основе гравиигеографического подхода, ранее успешно использованного для осмысления закономерностей размещения и эволюции озер Урала [10; 11]. В целом такой подход с учетом стремления геосистем к наибольшей гравитационной устойчивости позволяет заблаговременно оценивать геокрибернетический статус водохранилищ, степень их устойчивости к воздействиям природных и антропогенных факторов, что актуально для построения современной геоэкологоэкономической парадигмы хозяйствования.

Большая часть водохранилищ на реках и водоемах восточного склона Урала и сопряженных территориях относится к подбассейну р. Тобол.

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Литовский В.В.*

Так, из 653 водохранилищ бассейна Иртыша в подбассейне Тобола сосредоточено 624 водохранилища. Здесь же находятся все 13 водоемов с емкостью более 100 млн м³, а также 36 из 37 водоемов категории от 10 до 100 млн м³ (таблица). Таким образом, наиболее зарегулированным является его сток.

Таблица

Показатели средних и больших водохранилищ в подбассейне р.Тобол [19]
Indicators of medium and large reservoirs in the sub-basin of the Tobol River [19]

№ п/п	Название водохранилища	Бассейн реки	Объем, млн м ³		Вид регулирувания	Назначение
			полный	полезный		
1	Южноуральское	Увелька	71,55	61,7	Многолетн.	Водоснабжение
2	Исетское	Исеть	74,4	30,0	Сезонное	Водоснабжение, рекреация
3	Верхне-Исетское	Исеть	37,4	15,4	Сезонное	Водоснабжение, рекреация
4	Волковское	Исеть	14,1	8,5	Сезонное	Водоснабжение, рекреация
5	Верхне-Сысертское	Сысерть	29,6	13,5	Многолетн.	Рекреация
6	Сысертское	Сысерть	11,3	9,1	Сезонное	Водоснабжение, рекреация
7	В-30	Синара	188	н.с.	Многолетн.	Производство, хозпитьевое
8	В-39	В истоке р.Исети из оз.Иткуль	266	н.с.	Многолетн.	Производство, хозпитьевое
9	В-1	В истоке р.Течи из оз.Иртяш	528	522	–	Хозпитьевое
10	В-5	На канале между оз.Иртяш и оз.Б.Касли	288	285	–	Хозпитьевое
11	Аргазинское	Миасс	966,1	800	Многолетн.	Хозпитьевое, Рыборазведение
12	Кыштымское	Кыштым	20,0	6,5	–	Хозпитьевое, регулирование стока
13	Оз. Тургойак	Миасс	507	н.с.	–	Рекреация
14	Шершневское	Миасс	176,0	170,0	Многолетн.	Питьевое и техническое водоснабжение
15	Черносточинское	Исток приток р.Тагил	111,0	75,0	Многолетн.	Водоснабжение
16	Леневское	Тагил	141,0	135	Многолетн.	Попуски
17	Аятское	Аять	106,5	53,5	Многолетн.	Водоснабжение, рыбное хозяйство
18	Режевское	Реж	16,4	10,4	Сезонное	Водоснабжение, рекреация
19	Белоярское	Пышма	265,0	95,0	Многолетн.	Водоснабжение
20	Рефтинское	Рефт	142,0	59,0	Сезонное	Водоснабжение, рыбохозяйственное

Учитывая это, в целях должного водообеспечения ключевых промышленных центров Урала на его восточном склоне для Челябинска и Екатеринбурга с прилегающими промузлами в свое время было решено использовать межбассейновую переброску части стока р.Уфа (бассейн р. Кама) в реки Чусовая (приток р. Кама), Миасс и Исеть (притоки р. Тобол). Было построено три объекта межбассейновой переброски стока и два внутрибассейновой переброски стока [19].

В частности, для повышения водообеспеченности г. Екатеринбурга была предусмотрена межбассейновая переброска стока с годовым объемом 80 млн м³ из Нязепетровского водохранилища (Челябинская область) на р.Уфа в р.Западная Чусовая с последующей подачей воды через Верхне-Макаровское и Волчихинское водохранилища на р. Чусовую и далее на водоочистные сооружения системы водоснабжения г.Екатеринбурга (рис.1).

При этом основным источником водоснабжения Екатеринбурга служит гидротехнический каскад Верхнемакаровского и Волчихинского водохранилищ на р. Чусовой. Его водозабор на Волчихинском водохранилище расположен в 30 км от Екатеринбурга на правом берегу р. Чусовой.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Литовский В.В.

Дополнительными источниками воды для города служат Ревдинское и Новомариинское водохранилища на р. Ревде, а также Нязепетровское водохранилище с каскадом насосных станций для перекачки воды р. Уфы в Чусовую. Таким образом, полный комплекс гидротехнических сооружений, обеспечивающих Екатеринбург водой, включает плотины на Нязепетровском, Верхнемакаровском, Волчихинском, Ревдинском и Новомариинском водохранилищах; системы перекачки воды из Нязепетровского водохранилища в бассейн р. Чусовой, а также из Ревдинского водохранилища в Волчихинское. Наконец, комплекс обеспечения Екатеринбургского узла включает тракт подачи воды из Волчихинского водохранилища на фильтровальные станции. Вода оттуда через рыбозащитные сооружения поступает по самотечному каналу до шлюза-регулятора №3, затем по водоводам подается на Западную фильтровальную станцию и головные сооружения водопровода, а также на Среднеуральскую ГРЭС, обеспечивающую Екатеринбург теплом [3].

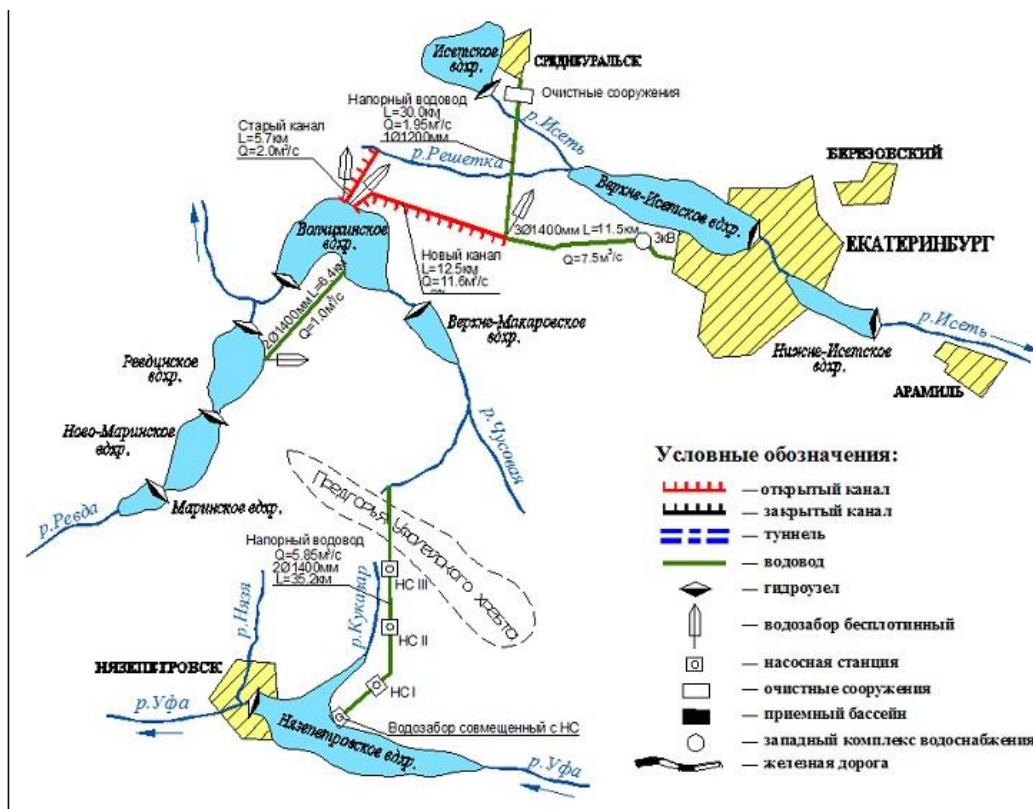


Рис.1. Схема межбассейновой переброски стока из Нязепетровского водохранилища в р. Западная Чусовая (Волчихинское вдхр.) и из этого водохранилища в Верхне-Исетское водохранилище и г. Екатеринбург [19]

Fig. 1. Scheme of inter-basin diversion of runoff from the Nyazepetrovskoe Reservoir to the Zapadnaya Chusovaya River (Volchikhinskoe Reservoir) and from this reservoir to the Verkhne-Isetskoe Reservoir and the city of Yekaterinburg [19]

Кроме того, для улучшения надежности дополнительного водообеспечения Екатеринбурга из Волчихинского водохранилища предусмотрена межбассейновая переброска стока в р. Решетка с годовым объемом 8 млн. м³ и подача воды в Верхне-Исетское водохранилище на р. Исеть. Последнее выполняет функции резервного источника при возникновении чрезвычайных ситуаций. Помимо этого, в пределах Свердловской области внутриводосборной переброски стока предусмотрена также для повышения водообеспеченности г. Новоуральска. Она осуществляется из Аятского водохранилища на р. Аять (приток р. Реж) с годовым объемом 30 млн м³ переброски воды в Верхне-Нейвинское водохранилище на р. Нейва (приток р. Ница).

Схема сооружений межбассейновой переброски стока из Нязепетровского и Волчихинского водохранилищ к Екатеринбургу приведена на рис. 1.

Важно отметить, что в результате переброски стока из бассейна р. Чусовой в р. Исеть бытовой минимальный средний месячный сток в створе г. Екатеринбурга превышает естественный более чем в два раза. Превышение средних минимальных расходов воды бытового стока над естественным отмечается

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Литовский В.В.*

также на реках Миасс и Пышма. Вследствие этого летние средние минимумы Иртыша возрастают по длине реки от границы Казахстана и России до устья (г.Ханты-Мансийск) от 450 м³/с до 2090 м³/с, а зимние – от 240 м³/с до 660 м³/с.

Ниже, соответственно статусности водохранилищ в системе искусственного распределения стока вод на восточном склоне Урала, оценим гравигеографический и геоэкологический статусы водохранилищ Свердловской области, их потенциал как производительных сил.

Методика исследования

Методика исследований описана в работе [11]. Количественный аспект необходимых изъятий массы Δm для изостатического выравнивания веса территории в упрощенном варианте оценивался из условия приведения локальной силы тяжести к нормальной:

$$\Delta(mg) = 0 \text{ или } (\Delta m \times g + \Delta g \times m) = 0. \quad (1)$$

Это дает возможность для изъятий массы, приводящих локальную поверхность к изостатическому равновесию, получить простую формулу, позволяющую оценивать на основе картографических данных об аномалиях гравиполя Δg :

$$\Delta m = -m \times \left(\frac{\Delta g}{g_0}\right) = -m \times \frac{(g-g_0)}{g_0}. \quad (2)$$

В формуле (2) $g_0 = 980665$ мГл – это нормальная «сила тяжести» (ускорение свободного падения) в гравиметрических единицах. При исходном положительном значении Δg отрицательный знак в правой части уравнения указывает на необходимую убыль массы и, наоборот, на требуемый привнос вещества при отрицательной аномалии Δg . При положительной аномалии $\Delta g = 1$ мГл в перерасчете на 1 млн т пород выражение (2) дает допустимое изъятие лишь 1т, а при аномалии в 10 мГл – 10 т «лишнего веса». При отрицательных аномалиях той же величины на 1 млн т необходим привнос от 1 до 10 т вещества. В объемных единицах, в перерасчете массы абстрактного вещества на конкретное (например, вода с ее плотностью 1000 л/м³), при аномалиях в 1 и 10 мГл необходим привнос воды от 1 до 10 м³, соответственно, на каждый миллион тонн вещества поверхности. При средней ее плотности пород складчатых областей (гор и предгорий) в 2670 кг/м³ массе в 1 млн т соответствует объем в 374532 м³, или куб со стороной 72 м. На 1 км³ в этом случае при аномалии $\Delta g = 1$ мГл уже требуется изъятие 2670 т «лишнего» вещества, а при аномалии $\Delta g = 10$ мГл – 26700 т.

Соответственно, на территориях с такими аномалиями для восстановления их равновесного изостатического состояния необходимо изъятие от 2670 до 26700 м³ воды. При значениях $\Delta g = 30-40$ мГл объемы увеличиваются от 80100 м³ до 106800 м³. В единицах толщины слоя воды с каждого кубического км недр необходимо снять вес, создаваемый слоем от 8 до 10 см.

Соответственно, даже при гипотетической глубине аномалообразующих пород до подошвы земной коры (в 30–50 км) это означает, что с каждого квадратного км поверхности таких столбов при аномалиях в 30 мГл нужно снять лишний вес, соответствующий объему воды от 2,4 млн м³ для толщины коры в 30 км до 4 млн м³ при толщине в 50 км. При аномалиях в 40 мГл должен сниматься слой воды с объемом от 3,2 млн м³ до 5,3 млн. м³, соответственно, или соответствующая масса – в тоннах.

Для построения карт с композитной грид-информацией и ГИС-гравигеографического анализа использовались программный пакет «Global Mapper», ГИС-основа ВСЕГЕИ [6] с данными ИАЦ «Минерал» [7], Интерактивная электронная карта недропользования Российской Федерации [21], GIS-Лав [20], авторская теоретико-методологическая основа [8–11]. Сведения о водохранилищах были получены в основном из Федерального информационного портала «Вода России» [3].

Результаты и их обсуждение

Общая гравиикартина межбассейновых водохранилищ для обслуживания нужд Екатеринбурга представлена на рис.2.

Для детального анализа особенностей каждого из ключевых водохранилищ в гидросистеме на рисунке указаны и гравиипрофили водохранилищ по их осевым линиям от верховий к нижним частям, перекрытых плотинами.

Технически перекачивание воды из Нязепетровского водохранилища через водораздел с перепадом высоты в 400 м (рис.1) осуществляется с помощью двух водоводов длиной 35 км каждый и нескольких

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Литовский В.В.

насосных станций, берущих воду с глубины 18 м из специального водозаборного сооружения, на что затрачивается электроэнергия, превышающая потребность Нязепетровского района. В целом водохранилище обеспечивает потребности в хозяйственно-питьевом и производственном водоснабжении не только Екатеринбурга, но и Нязепетровска с Верхним Уфалеем.

Как следует из рис.2, Нязепетровское водохранилище полностью расположено в зоне отрицательной гравеоаномалии величиной -10 мГл, т.е. отвечает принципиальному условию для создания идеальной изостатики при наполнении его водой. Допустимый максимальный диапазон глубин нагружения водой в рамках развиваемого гравииподхода для обеспечения здесь идеальной изостатики дневной поверхности оценивается в 1,3 м. В реальности, как следует из величины его средней (7,8 м) и максимальной глубин (22 м) [13–14], теоретически допустимая нагрузка здесь превышена в 6 и 17 раз, соответственно.

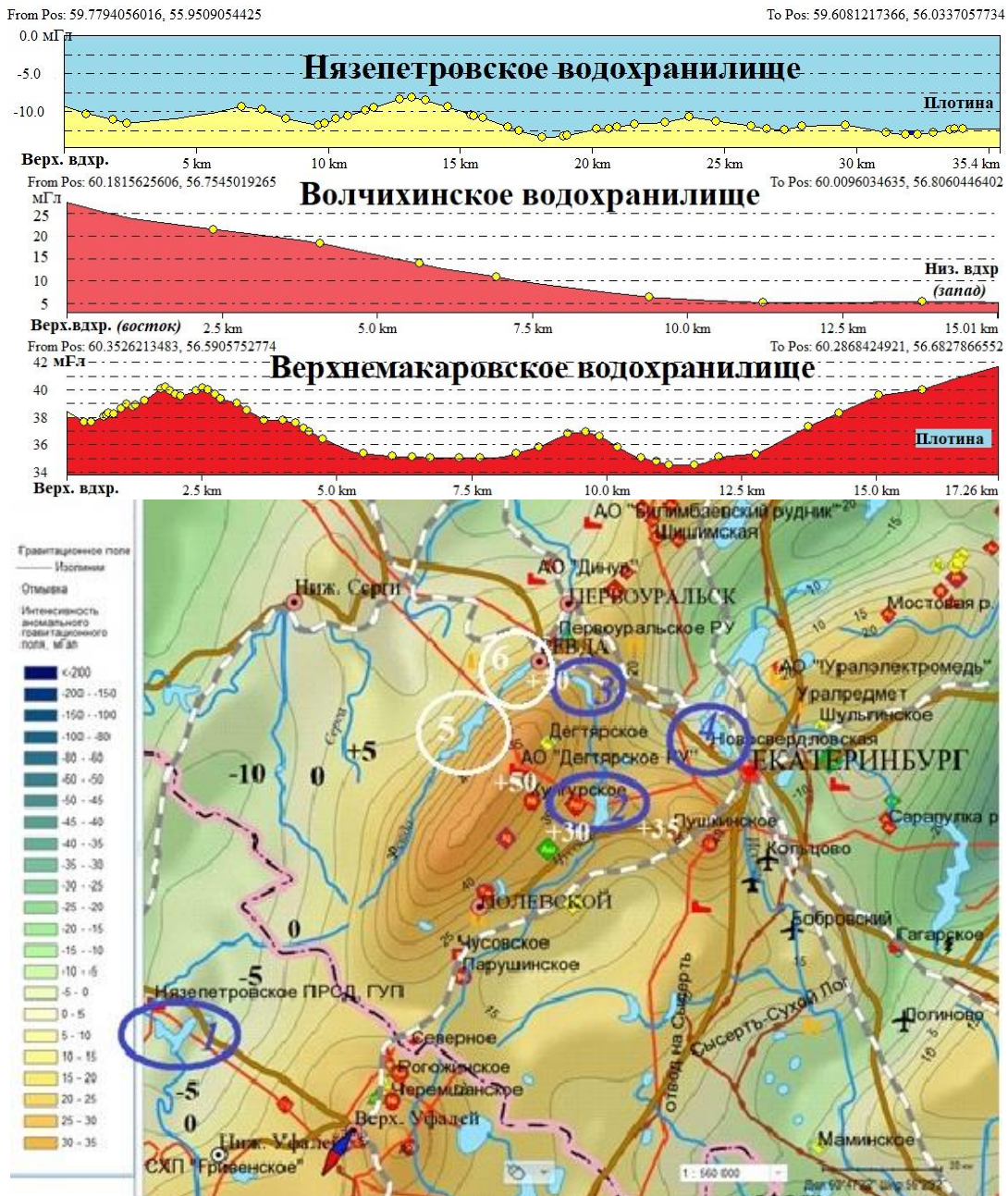


Рис.2. Гравиикартина межбассейновых водохранилищ для обслуживания нужд Екатеринбурга: (1–Нязепетровское, 2–Верхнемакарское, 3–Волчихинское, 4–Верх-Исетское), 5–Новомариинское, 6–Ревдинское с профилями аномального поля силы тяжести, мГл

Fig. 2. Gravitational picture of inter-basin reservoirs for servicing the needs of Yekaterinburg (1–Nyzepetrovskoe, 2–Verkhnekarakovskoe, 3–Volchikhinskoe, 4–Verkh-Isetskoe, 5–Novomariinskoe, 6–Revdiinskoe) with profiles of anomalous gravity field (mGal)

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Литовский В.В.*

Верхне-Макаровское водохранилище расположено на р. Чусовой, в Полевском городском округе Свердловской области, в 20 км к югу от г. Екатеринбурга. Его земляная плотина высотой 14 м находится в 485 км от места впадения р. Чусовой в р. Каму, а зеркало водоема при нормальном подпорном уровне расположено на высоте 317 м над уровнем моря. Проект гидроузла был выполнен еще в 1964–1965 гг., а заполнено водохранилище – в 1974–1976 гг.

Соответствующий НПУ полный объем водохранилища составляет 52,45 млн м³, полезный объем – 51,56 млн м³, площадь водного зеркала – 14,31 км², а средняя глубина – 3,7 м. Максимальная глубина водоема в реальности достигает 12 м, длина водохранилища – около 20 км, а площадь мелководий (до 2,0 м) – 3,76 км² [2].

Исследование гравеокартины Верхнемакаровского водохранилища и его гравипрофиля, представленных на рис.2, показывает, что оно является наиболее проблемным в этом плане в каскаде водохранилищ, обслуживающих нужды Екатеринбурга. В частности, Верхнемакаровское водохранилище расположено в зоне мощной положительной гравеоаномалии с вариациями аномального поля силы тяжести от +35 до +45 мГл.

Это указывает на то, что в месте его расположения имеется значительный избыток веса дневной поверхности, равнозначный весу слоя воды от 4,7 м до 6 м, соответственно. Однако вместо того, чтобы его снимать, поверхность здесь нагрузили дополнительным весом воды, создаваемым средней толщей в 3,7 м, а максимальной локальной – до 12 м.

Как показывает исследование гравипрофиля водохранилища, его плотина выполняет не только функции гидрозатвора, но и «гравизатвора» (т. е. при одинаковой высоте уровня воды из-за превышения локального значения ускорения свободного падения или удельной силы тяжести она будет двигать воду в обратную сторону: от плотины к верховьям водохранилища), поскольку на участке протяженностью примерно 5 км перед плотинной положительная аномалия нарастает от +35 до +45 мГл.

Новомариинское водохранилище или Новомариинский пруд [12] в административном отношении относится к городскому округу Ревда Свердловской области. Оно расположено к западу от Екатеринбурга, в нижнем течении левого притока Чусовой р.Ревда, а именно: в 18 км от ее устья. Водохранилище вытянуто вдоль русла р. Ревды (рис.7–8). Длина водохранилища – 11,5 км, наибольшая ширина – 1,3 км, средняя глубина – 7,6 м, а максимальная – 23,5 м. Площадь водного зеркала при нормальном подпорном уровне (НПУ) в 331 м над уровнем моря составляет 13,2 км², а полный объем водохранилища – 101 млн м³. Полезный объем водохранилища составляет 96,5 млн м³. В целом общая площадь водосбора в створе плотины – 632 км², длина береговой линии водохранилища – 48,8 км, а среднегодовой сток в створе гидроузла – 19 млн м³.

Ниже него расположено Ревдинское водохранилище, которое используется с ним в каскаде. Новомариинский гидроузел введен в эксплуатацию в 1966 г., а его реконструкция выполнена в 1999 г. В частности, его земляная плотина, по гребню которой проходит автодорога со щебеночным покрытием, имеет длину 950 м и наибольшую высоту – 27 м. Основная функция водохранилища состоит в многолетнем регулировании стока р. Ревды для водоснабжения Екатеринбургского промышленного узла. В каскаде оно используется также для пополнения Ревдинского водохранилища. В водохранилище впадают реки Кислянка, Тараканиха, Поповка, Ближняя Шумиха, Дальняя Шумиха, Горелка, Круглая и несколько безымянных ручьев. В центральной части водохранилища расположено несколько островов, а его неровное дно до сих пор сохраняет остатки затопленных деревьев. Берега водохранилища более чем на 83% покрыты смешанными лесами.

Ревдинское водохранилище было создано на р.Ревда близ ее устья при постройке Ревдинского железодобывающего завода в 1732–1734 гг. (около современного г. Ревда Свердловской области) [16]. Исходной его функцией была регуляция уровня воды в Чусовой при прохождении судов и сплава барок. Ныне северная часть водоема находится в черте города (рис.3), а южная – между склонами гор, покрытых смешанным лесом. Общий объем воды водохранилища – около 25 млн м³ (0,0249 км³), а полезный – 13,5 млн. м³. Площадь водохранилища при нормальном подпорном уровне воды над уровнем моря в 302,8 м составляет 5,6 км², а при современном в 301 м – 4,7 км². С 1966 [17] по 2015 гг.[15] наибольшие длины варьировали от 11 км до 8 км, а ширина – от 1 до 0,6 км, глубины – от 10 м до 5,8 м.

Как видно из рис. 3, Новомариинское и Ревдинское водохранилища расположены в зоне значительных положительных гравитационных аномалий от 30–25 мГл для первого до 25–20 мГл – для второго. Соответственно, все, что было отмечено для Верхнемакаровского водохранилища, справедливо

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Литовский В.В.

и для этих двух водохранилищ. А именно: на территориях их расположения имеется значительный избыток веса дневной поверхности, равнозначный весу слоя воды от 4 м до 3,4 м, соответственно, для первого, и от 3,4 до 2,7 м. Однако вместо того, чтобы его снимать, поверхности здесь нагрузили дополнительным весом воды, создаваемым средней толщей в 7,6 м, а максимальной – до 23,5 м для Новомариинского водохранилища и от 5,8 м до 10 м – для Ревдинского водохранилища. Вероятно, поэтому ответной реакцией на сверхнормативное нагружение здесь наблюдаются обмеление водоемов и поверхностный размыв более твердых и плотных покровных пород в зоне их расположения, возникновение других геоэкологических проблем.

Волчихинское водохранилище В меньшей степени сходные эффекты наблюдаются и в Волчихинском водохранилище [4] – еще одном водоеме, образованном на р. Чусовая в Свердловской области в 1944 г., известном также как «Свердловское море». Расположено оно в 32 км к западу от Екатеринбурга, на р. Чусовой, на 449 км выше её впадения в р. Каму и эксплуатируется в каскаде с вышерасположенным Верхнемакаровским водохранилищем. Высота водоема над уровнем моря – 298 м.

Полная площадь его поверхности – 37,1 км², а площадь водного зеркала при НПУ – 32,8 км². Полный объем водохранилища при НПУ – 82,5 млн м³, а полезный – 64,5 млн м³; средняя глубина – 2,5 м, максимальная – 12,0 м.

Длина водохранилища составляет 16 км, средняя ширина – 2 км, а максимальная – 5,5 км. В целом, площадь мелководий с глубиной до 2 м составляет 15,3 км², кроме того, на акватории водохранилища насчитывается более 10 островов.

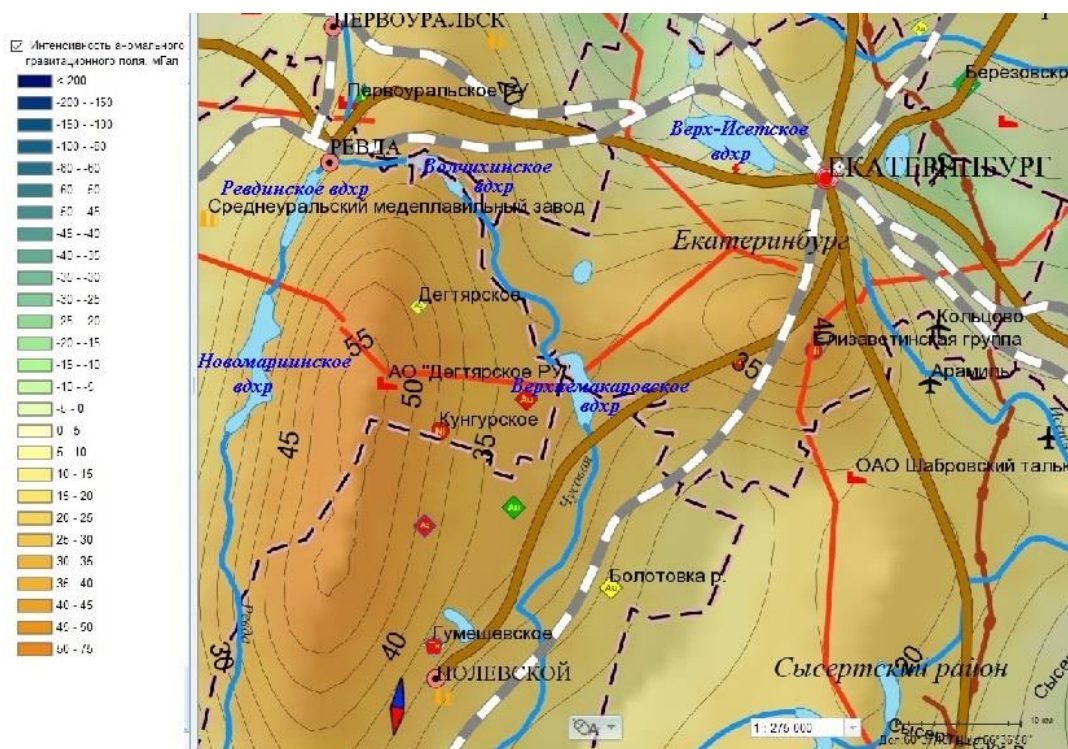


Рис. 3. Новомариинское и Ревдинское водохранилища на физической гравиикарте с изолиниями аномального поля, мГл
Fig. 3. Novomariinskoe and Revdinskoe reservoirs on physical gravity maps with the anomalous field isolines (mGal)

На северном его берегу расположены гора Волчиха и хребет Гребни. Там же в свое время оказалась и ветка железной дороги Екатеринбург – Казань, с остановочными пунктами Флюс, Спортивная, 1624 км. На западном берегу находится главная плотина, на южном берегу – горы Маслова, Змеевая, Бельниковские горы, а на юго-западе – большой залив, образуемый при впадении р. Ельчевки (Исток). На восточном берегу водохранилища ныне расположены строения канала Чусовая – Исеть, первая часть которого длиной 8 км была построена еще в середине 1940-х гг., а вторая длиной 11 км – в 1980 г. По первому из них вода попадает в р. Решетку, а далее в Верх-Исетский пруд, а по второму – доходит до Московского тракта, где по трубам поступает на западные очистные сооружения МУП «Водоканал» (рис.1).

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Литовский В.В.*

Изначально Волчихинское водохранилище проектировалось как часть трансуральского водного пути для соединения бассейнов Волги и Оби, задуманного еще в XVIII в. Попытки же использовать воды Чусовой для водоснабжения Екатеринбурга – известны с XIX в. Резкий промышленный рост Екатеринбурга в период образования Уральской области обусловил резкую потребность в создании водохранилища. Его строительство началось в 1940 г., а было завершено к 1944 г. Ныне водохранилище как основной источник питьевого водоснабжения г. Екатеринбурга, имеющий высокое рекреационное значение, объявлено государственным ландшафтным заказником.

Как следует из гравеокартины водохранилища, в частности из его продольного профиля (рис.2), водоем находится в области положительных аномалий поля силы тяжести с их снижением от верхней точки к плотине от +27 мГл до + 5 мГл. Соответственно, такой тренд уменьшает избыточный лишний вес от верховья к нижней части водохранилища почти до состояния изостатического равновесия. Однако прибавление к уже лишнему весу веса толщи воды водохранилища обуславливает его дополнительную относительную перегруженность от условной единицы в верховье до 5 в низовьях.

Верх-Исетское водохранилище – это пруд, образованный в 1725–1726 гг., для нужд Верх-Исетского завода, а также в качестве резерва для нижнего Городского пруда Екатеринбурга, плотина которого приводила в движение механизмы Екатеринбургского завода.

Размеры пруда: 10 × (2–2,5) км; площадь – 16 км²; высота над уровнем моря – 249,8 м; наибольшая глубина 8 – 10 м у плотины и вдоль прежнего русла реки Исеть, средняя глубина – 2,5 м. Водоём вытянут вдоль Исети на 10 км.

Топографическая карта Верх-Исетского водохранилища вместе с профилем его рельефа (м) и гравеопрофилем (мГл) представлена на рис.4.

Котловина пруда заложена среди гранитов Верх-Исетского массива. Объем – 37,4 (полезный – 15,4) млн м³.

Как следует из рис.4, Верх-Исетское водохранилище находится в зоне припойменных территорий р. Исети, которые оказываются почти гравитационно скомпенсированными на западной оконечности водоема (-2 мГл) и имеют нарастающий дефицит веса при смещении от пос. Палкино к востоку, где дефицит веса для ее изостатического уравнивания нарастает к восточной оконечности водохранилища до аномального отрицательного значения гравиполя (-7 мГл), с последующим его дальнейшим ростом до -12 мГл при смещении по периметру водохранилища в его северную серединную часть.

В целом, можно отметить, что дополнительный вес воды водохранилища отчасти компенсирует здесь естественный недостаток нагрузки на поверхность, ввиду этого роль водохранилища по стабилизации вертикальных перемещений положительна и в хозяйственном, и геоэкологическом отношениях. Укажем, что Верх-Исетское водохранилище регулируется водой за счет не только Исети, но и Исетского водохранилища (объем – 74,4 млн м³, а полезный – 30 млн м³), поступающей по каналам из Волчихинского водохранилища на р. Чусовой и Нязепетровского – на р. Уфе (рис.1) за счет впадающей в пруд речки Светлой.

Ныне Верх-Исетское водохранилище стало резервным источником водоснабжения г. Екатеринбурга, а забор воды из него с 2015 г. производится лишь на производственные нужды, поскольку в микрорайоны «Сортировочный» и поселка «Семь ключей» воду подают из Волчихинского водохранилища. Причина заключается в том, что Екатеринбургское муниципальное предприятие «Водоканал» долгие годы сбрасывало в пруд недостаточно очищенные хозяйственно-бытовые сточные воды, объем которых в 2012 г. достиг 22 млн м³, превышая зачастую установленные допустимые концентрации загрязняющих веществ. В результате чего к 2013 г. практически половина пруда сконцентрировала избыточные отходы в виде осадка, состоящего из пылевых и мельчайших продуктов промывки, забитых вредными продуктами фильтров (шлама), и водоем лишь сверху был покрыт очень тонким слоем воды. С установкой нового оборудования на Северной аэрационной станции, где воду для городского водопровода стали очищать не хлором, а ультрафиолетом, ситуация изменилась к лучшему. В 2014 г. новые технологии позволили снизить количество таких осадков (шлама) в очищаемых стоках на 90%, а на сегодняшний день полностью прекратить их сброс в шламонакопитель и исключить попадание сточных вод в Верх-Исетский пруд.

Рефтинское водохранилище [18] образовано сливающимися речками Малый и Большой Рефт в Свердловской области. Было создано в 1968 г. для водоснабжения Рефтинской ГРЭС, предназначенной для энергоснабжения промышленных районов Свердловской, Тюменской, Пермской и Челябинской

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Литовский В.В.

областей, – одной из крупнейших в России тепловых электростанций, работающих на твердом топливе (ее электрическая мощность составляет 3800 МВт, а тепловая – 350 Гкал/час). В качестве основного топлива на ГРЭС используется экибастузский каменный уголь, а в качестве нагреваемой массы – вода из водохранилища. Доля вырабатываемой на Рефтинской ГРЭС электроэнергии от общего объема потребляемой Свердловской областью – около 40%.

Вода из водохранилища по специальным каналам поступает к электростанции также и для охлаждения ее агрегатов, т.е. водохранилище в цикле Карно выступает в качестве «холодильника». Оно находится на высоте 177 м над уровнем моря¹. Примерно через 15–20 км ниже его плотины р. Рефт впадает в р. Пышму. Площадь водохранилища – 25,3 км², средняя глубина – 5,3 м, а наибольшая глубина – 22 м.

Помимо ГРЭС в одноименном поселке развиты рыбное хозяйство и известная на Среднем Урале Рефтинская птицефабрика.

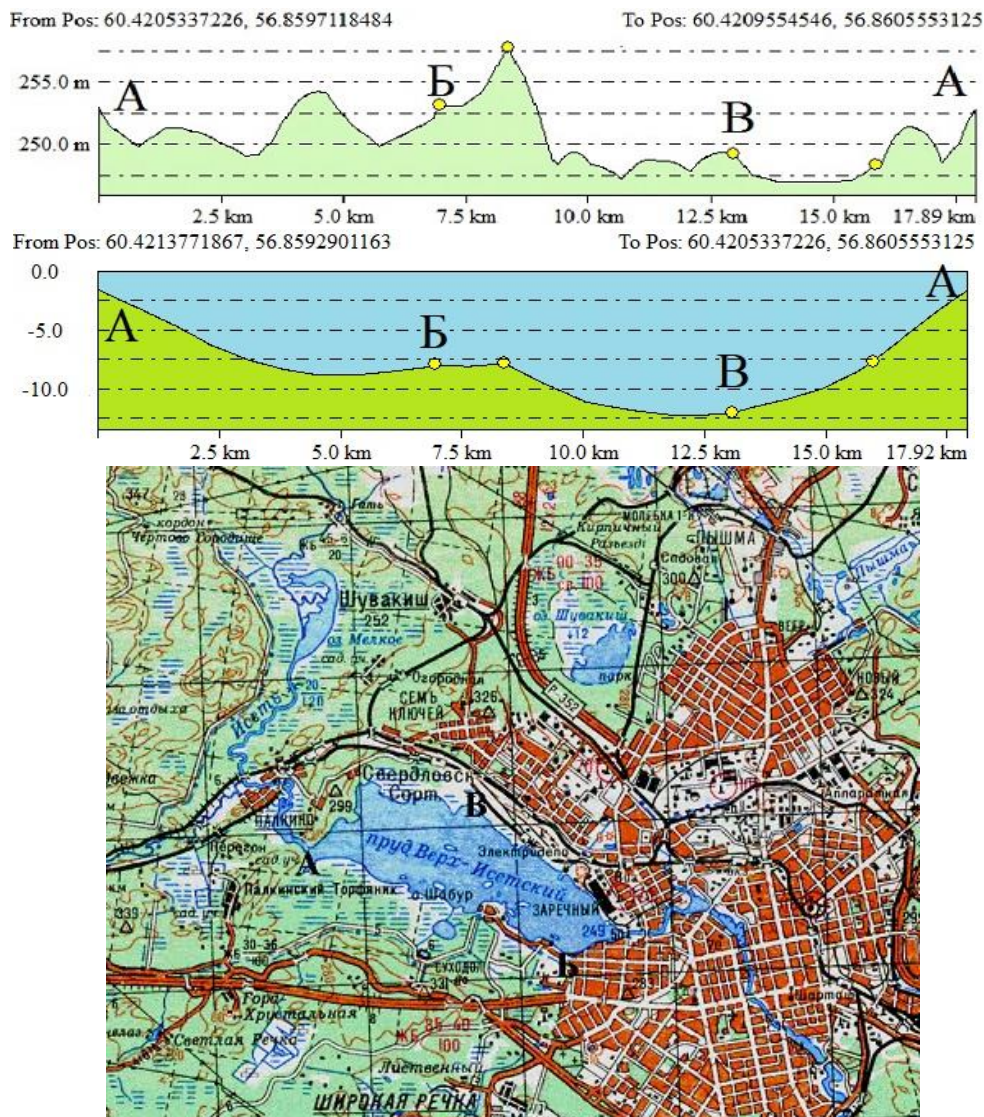


Рис.4. Верх-Исетское водохранилище (внизу) с профилем рельефа (вверху) и гравипрофилем (в центре)
Fig. 4. Verkh-Isset'skoe Reservoir (at the bottom) with the relief profile (at the top) and the gravity profile (in the center)

Исследование гравигеографии Рефтинского водохранилища показало, что оно расположено в зоне мощной обширной отрицательной гравеоаномалии величиной свыше – 40 мГл. Допустимый максимальный диапазон глубин нагружения водой в рамках развиваемого гравиподхода для обеспечения здесь идеальной изостатики дневной поверхности здесь может достигать 5,5 м. Соответственно, при средних значениях

¹ Ежегодно ГРЭС выбрасывает на золоотвалы около 6 млн т золы и шлака.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Литовский В.В.

глубины водохранилище почти обеспечивает идеальное изостатическое равновесие. Тем не менее для глубин более 5,5 м теоретически допустимая нагрузка превышена, в частности, для максимальной глубины (22 м) в 4 раза. Это следует принимать во внимание во избежание нежелательных экологических сценариев.

Сходная картина наблюдается и на Белоярском водохранилище.

Белоярское водохранилище [1] – крупнейшее водохранилище Свердловской области, созданное на р. Пышма в связи со строительством Белоярской АЭС и используемое в качестве охладителя ее реакторов и технического водоснабжения станции. Тем не менее по сравнению с другими водохранилищами России – это средний по размеру искусственный водоем. В административно-территориальном отношении он расположен на территории Березовского и Заречного районов Свердловской области – примерно в 50 км к востоку от Екатеринбурга.

По типу – это русловое водохранилище, образованное перекрытием плотиной р. Пышма (правый приток р.Туры) в 531 км от устья с последующим постепенным затоплением ее довольно обширных припойменных территорий, наполненное до требуемой отметки в 1963 г.

Так, высота водохранилища над уровнем моря составляет 207 м. Его площадь равна 38 км², а объем – 0,265 км³, средняя глубина водоема – 7 м. Максимальная глубина составляет 18,3 м, высота плотины – 24 м, протяженность водохранилища – 25 км, ширина – до 4 км, большая часть дна илистая, на отдельных участках оно каменистое или песчаное.

Согласно более специализированному источнику «Вода России» [3], нормальный подпорный уровень при плотине Белоярского водохранилища – 212 м. Площадь при НПУ составляет – 34,4 км², а объем – 242 млн м³, полезный объем при этом – 97 млн м³. С учетом этих данных, средняя глубина при НПУ составляет 7 м, а полезная – 3 м.

В источнике также отмечено, что «большое влияние на формирование притока в водохранилище в меженный период оказывают хозяйственно-бытовые стоки, поступающие с очистных сооружений Екатеринбурга, Верхней Пышмы, Среднеуральска и промышленных предприятий Березовска. Суммарный объем сточных вод, поступающих в р. Пышму, составляет около 90 млн м³/год». Согласно этому отметим, что фактически полезный объем создается водами вторичной переработки, поступающими в р.Пышма с очистных сооружений Екатеринбургского промышленного узла.

В плане гравигеографии Белоярское водохранилище оказалось в зоне отрицательных аномалий, варьирующихся от -5 до -25 мГл.

Соответственно, нагружение весом воды здесь допустимо в пределах от 0,8 м в его верхней точке до 3,5 м у плотины. В реальности, как следует даже из средних значений глубины (7 м), максимум там превышен в 2 раза, а для максимальной отметки глубины (18,3 м) – в пять с лишним раз. С учетом особого статуса водохранилища в плане экологического контроля это необходимо учитывать во избежание нежелательных эксцессов.

Выводы

Изучение гравигеографии водохранилищ Свердловской области с целью роли их для хозяйства региона, рационального хозяйственного использования природного капитала и эффективного пространственного размещения производительных сил показало, что большая часть из них не отвечают условию компенсационного нагружения дневной поверхности для приведения ее к изостатическому равновесию ($\Delta g = 0$).

Напротив, даже на территориях, где Δg отрицательно, т.е. имеется ресурс для нагружения дневной поверхности весом тела водохранилища, реальные нагрузки не соответствуют должным, создавая перегрузки.

В целом фундаментальному условию размещения водохранилищ в зонах недостатка вещества ($\Delta g < 0$) для нагружения весом воды дневной поверхности соответствуют 3 из 7 водохранилищ: Верх-Исетское, Рефтинское и Белоярское.

Из исследованных водохранилищ наиболее полно соответствует условию идеального изостатического равновесия в зоне его средних глубин Рефтинское. Тем не менее для приплотинных участков всех водохранилищ данное условие не выполняется: теоретически допустимая нагрузка зачастую превышена кратно.

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Литовский В.В.*

Таким образом, самым слабым звеном с позиций гравиигеографии у крупных и средних искусственных водоемов Свердловской области являются приплотинные части, где практически повсеместно превышения нагрузки оказываются кратными норме, соответствующей условиям идеального изостатического равновесия.

Благодарности. *Статья подготовлена в соответствии с планом НИР Института экономики УрО РАН на 2020–2021 годы.*

Acknowledgments. *The article was prepared in accordance with the research work plan of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences for 2020–2021.*

Библиографический список

1. *Белоярское водохранилище.* URL: https://water-uf.ru/Водные_объекты/2026/Белоярское_водохранилище (дата обращения: 20.05.2020).
2. *Верхнемакаровское водохранилище. Вода России.* URL: https://water-uf.ru/Водные_объекты/2698/Верхнемакаровское_водохранилище (дата обращения: 20.05.2020).
3. *Вода России. Федеральный информационный портал.* URL: <https://voda.org.ru/> (дата обращения: 20.05.2020).
4. *Водохозяйственная система Екатеринбурга.* URL: https://water-uf.ru/Глоссарий/1494/Водохозяйственная_система (дата обращения: 20.05.2020).
5. *Волчихинское водохранилище. Вода России.* URL: https://water-uf.ru/Водные_объекты/3418/Волчихинское_водохранилище (дата обращения: 20.05.2020).
6. *ВСЕГЕИ. Георесурсы.* URL: <http://www.vsegei.ru/ru/info/georesource/> (дата обращения: 20.05.2020).
7. *ИАЦ «Минерал».* URL: <http://www.mineral.ru> (дата обращения: 20.05.2020).
8. *Литовский В.В.* Гравиигеография, проблемы инфраструктуры и размещения производительных сил // Теоретико-географические основы формирования доминантного урало-арктического пространства и его инфраструктуры (для задач формирования многофункционального базисного опорного внутреннего и континентального моста России по оси «Север-Юг»). М.: ГЕОС, 2016. С.143–225.
9. *Литовский В.В.* Гравиигеография рек западного склона Урала. Ч.III. Реки бассейна Камы // Эко-потенциал. 2018. №3 (23). С.91–102.
10. *Литовский В.В.* Гравиигеография соленых озер Урала и сопредельных территорий: III. Особенности геохимии и генезиса // Географический вестник. 2018. №4(47). С.11–20.
11. *Литовский В.В.* Гравиигеография, экологические и водохозяйственные аспекты природопользования в степной зоне. I. Ириклинское водохранилище // Степи Северной Евразии: мат. VIII Междуна. симпозиума /под науч.ред. академика РАН А.А. Чибилёва. Оренбург: ИС УрО РАН, 2018. С.580–584.
12. *Новомариинское водохранилище. Вода России.* URL: https://water-uf.ru/Водные_объекты/3465/Новомариинское_водохранилище (дата обращения: 20.05.2020).
13. *Нязепетровское водохранилище. Вода России.* URL: https://water-uf.ru/Водные_объекты/2145/Нязепетровское_водохранилище (дата обращения: 20.05.2020).
14. *Нязепетровское водохранилище. Википедия.* URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Нязепетровское_водохранилище (дата обращения: 20.05.2020).
15. *Основные гидрологические характеристики рек бассейна Камы. Научно-прикладной справочник / под ред. В.Ю. Георгиевского.* Ливны: Мухаметов Г.В. 2015. 135 с.
16. *Ревдинское водохранилище.* URL: <http://reki-ozera.ru/109023-vodohranilische-revdinskoe.html> (дата обращения: 20.05.2020).
17. *Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность.* Т. 11. Средний Урал и Приуралье. Вып. 1. Кама / под ред. В. В. Николаенко. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 324 с.
18. *Рефтинское водохранилище. Вода России.* URL: https://water-uf.ru/Водные_объекты/3469/Рефтинское_водохранилище (дата обращения: 20.05.2020).
19. *Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Иртыш (СКИОВО-Иртыш).* Кн. 1. Общая характеристика речного бассейна. 2014. 303 с. URL: <http://nobwu.ru/index.php/ndvskiovo> (дата обращения: 20.05.2020).
20. *GIS-Lab.* Открытые данные Лаборатории. URL: <http://gis-lab.info/qa/geology-geophysics-open-data-sources.html> (дата обращения: 20.05.2020).
21. *Open Map Mineral.* Интерактивная электронная карта недропользования Российской Федерации. URL: <https://openmap.mineral.ru/> (дата обращения: 20.05.2020).

References

1. Water objects (2020), “Beloyarskoe vodohranilishche”, available at: [https://water-uf.ru/Vodnye_ob"ekty/2026/Beloyarskoe_vodohranilishche](https://water-uf.ru/Vodnye_ob) (Accessed 20 May 2020).
2. Water objects (2020), “Verhnemakarovskoe vodohranilishche”, available at: [https://water-uf.ru/Vodnye_ob"ekty/2698/Verhnemakarovskoe_vodohranilishche](https://water-uf.ru/Vodnye_ob) (Accessed 20 May 2020).
3. Water of Russia. Federal'nyj informacionnyj portal (2020), available at: <https://voda.org.ru/> (Accessed 20 May 2020).
4. Water of Russia (2020), “Vodohozyajstvennaya sistema Ekaterinburga”, available at: https://water-uf.ru/Glossarij/1494/Vodohozyajstvennaya_sistema (Accessed 20 May 2020).

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Литовский В.В.*

5. Water objects (2020), “Volchihinskoe vodohranilishche”, available at: [https://water-rf.ru/Vodnye_ob"ekty/3418/Volchihinskoe_vodohranilishche](https://water-rf.ru/Vodnye_ob) (Accessed 20 May 2020).
6. VSEGEI (2020), “Georesursy”, available at: <http://www.vsegei.ru/ru/info/georesource/> (Accessed 20 May 2020).
7. IAC «Mineral» (2020), available at: <http://www.mineral.ru> (Accessed 20 May 2020).
8. Litovskij V.V. (2016), “Graviogeografiya, problemy infrastruktury i razmeshcheniya proizvoditel'nyh” in *Teoretiko-geograficheskie osnovy formirovaniya dominantnogo uralo-arkticheskogo prostranstva i ego infrastruktury (dlya zadach formirovaniya mnogofunkcional'nogo bazisnogo opornogo vnutrennego i kontinental'nogo mosta Rossii po osi «Sever-YUG»*), GEOS, Moscow, Russia, pp.143–225.
9. Litovskij V.V. (2018), “Graviogeografiya rek zapadnogo sklona Urala. CHast' III. Reki bassejna Kamy”, *Ekopotencial*. №3 (23), pp. 91–102.
10. Litovskij V.V. (2018), “Graviogeografiya solenyyh ozer Urala i sopredel'nyh territorij: III. Osobennosti geohimii i genezisa” *Geograficheskij vestnik*. no.4 (47). pp. 11–20.
11. Litovskij V.V. (2018), “Graviogeografiya, ekologicheskie i vodohozyajstvennyye aspekty prirodopol'zovaniya v stepnoj zone. I. Irikhinskoe vodohranilishche”, *Stepi Severnoj Evrazii*, IS UrO RAN, Orenburg, pp.580–584.
12. Water of Russia (2020), “Novomariinskoe vodohranilishche”, available at: [https://water-rf.ru/Vodnye_ob"ekty/3465/Novomariinskoe_vodohranilishche](https://water-rf.ru/Vodnye_ob) (Accessed 20 May 2020).
13. Water of Russia (2020), “Nyazepetrovskoe vodohranilishche”, available at: [https://water-rf.ru/Vodnye_ob"ekty/2145/Nyazepetrovskoe_vodohranilishche](https://water-rf.ru/Vodnye_ob) (Accessed 20 May 2020).
14. Water of Russia (2020), “Nyazepetrovskoe vodohranilishche”, available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Nyazepetrovskoe_vodohranilishche (Accessed 20 May 2020).
15. Georgievskii V.Yu. (ed.) (2015), *Osnovnye gidrologicheskie karakteristiki rek bassejna Kamy. Nauchno-prikladnoj spravochnik*. Izdatel' Muhametov G.V., Livny, Russia.
16. Rivers-lakes (2020), “Revdinskoe vodohranilishche”, available at: <http://reki-ozera.ru/109023-vodohranilishche-revdinskoe.html> (Accessed 20 May 2020).
17. Nikolaenko V.V. (ed.) (1966), “Resursy poverhnostnyh vod SSSR: Gidrologicheskaya izuchennost'. vol. 11. Srednij Ural i Priural'e. no 1. Kama”, Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR.
18. Water of Russia (2020), “Reftinskoe vodohranilishche”, available at: [https://water-rf.ru/Vodnye_ob"ekty/3469/Reftinskoe_vodohranilishche](https://water-rf.ru/Vodnye_ob) (Accessed 20 May 2020).
19. Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i ohrany vodnyh ob"ektov bassejna reki Irtysh (SKIOVO-Irtysh). Kniga 1. Obshchaya karakteristika rechnogo bassejna. (2014), available at: <http://nobwu.ru/index.php/ndvskiovo> (Accessed 20 May 2020).
20. GIS-Lab (2020), “Otkrytye dannye Laboratorii”, available at: <http://gis-lab.info/qa/geology-geophysics-open-data-sources.html> (Accessed 20 May 2020).
21. Open Map Mineral. Interaktivnaya elektronnyaya karta nedropol'zovaniya Rossijskoj Federacii (2020), available at: <https://openmap.mineral.ru/> (Accessed 20 May 2020).

Поступила в редакцию: 19.05.2020

Сведения об авторе

Владимир Васильевич Литовский

доктор географических наук, заведующий сектором размещения и развития производительных сил, Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук;

Россия, 620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, д. 29.

e-mail: vlitovskiy1@yandex.ru

About the author

Vladimir V. Litovskiy

Doctor of Geographical Sciences, Head of the Department of Productive Forces Distribution and Territorial Planning, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences;

29, Moskovskaya st., Yekaterinburg, 620014, Russia

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Литовский В.В. Гравиогеография водохранилищ Свердловской области // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. №4(55). С. 17–29. doi 10.17072/2079-7877-2020-4-17-29.

Please cite this article in English as:

Litovskiy, V.V. (2020). Gravity geography of reservoirs in the Sverdlovsk region. *Geographical bulletin*. No. 4(55). P. 17–29. doi 10.17072/2079-7877-2020-4-17-29.