



ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ БЕРЕГОВ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

М.В. СТЕПАНОВА*, В.Н. ЭКЗАРЬЯН

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Первые 10—20 лет после создания крупных водохранилищ активизируется процесс переработки прибрежных территорий, что приводит к потере земельных ресурсов, оказывает негативное влияние на существующую прибрежную инфраструктуру и изменению глубины водохранилища в результате активизации процесса аккумуляции пород, разрушению береговых склонов. Отступление береговой линии составляет 10—15 метров в год. В работе рассмотрен процесс переработки берегов водохранилищ на примере Волгоградского водохранилища.

Цель. Разработка методики изучения и прогноза процесса переформирования берегов водохранилищ с помощью методов дистанционного зондирования и математической статистики.
Материалы и методы. Были собраны, обработаны и проанализированы данные 1980—1990 гг. по фактической величине переработки берегов Волгоградского водохранилища и проведена типизация прибрежной территории. Для получения величин берегообрушения за период с 90-х годов по настоящее время предлагается использовать материалы дистанционного зондирования. Прогнозирование процесса переформирования берегов водохранилищ осуществляется на основе применения методов математической статистики.

Результаты. На основе решения поставленных задач была предложена универсальная новая методика изучения и прогнозирования переформирования берегов водохранилищ. Методика апробирована на материалах Волгоградского водохранилища.

Заключение. Предлагаемая новая методика позволяет получать данные о динамике процесса переформирования берегов Волгоградского водохранилища, а также сделать прогноз на следующие 10 лет. Данную методику можно использовать для изучения процесса переформирования берегов крупных водохранилищ.

Ключевые слова: переформирование берегов водохранилищ, мониторинговые наблюдения, дистанционное зондирование, инженерно-геологическое районирование, методы математической статистики, прогнозирование процесса.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Степанова М.В., Экзарьян В.Н. Особенности изучения процесса переформирования берегов крупных водохранилищ с применением материалов дистанционного зондирования. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(2):60—68. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-2-60-68>

Статья поступила в редакцию 27.04.2024

Принята к публикации 25.06.2024

Опубликована 28.06.2024

* Автор, ответственный за переписку

STUDY INTO THE RESHAPING PROCESS OF LARGE RESERVOIR BANKS USING REMOTE SENSING

MARIA V. STEPANOVA*, VLADIMIR N. EKZARYAN

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

ABSTRACT

Background. During the first 10—20 years after the creation of large reservoirs, the process of processing of coastal territories is activated, which leads to the loss of land resources, has a negative impact on the existing coastal infrastructure and changes in the depth of the reservoir as a result of activation of the process of rock accumulation, destruction of coastal slopes. Shoreline retreat is 10—15 meters per year. The paper considers the process of recycling of reservoir banks on the example of the Volgograd reservoir.

Aim. Development of a methodology for studying and forecasting the process of reshaping of reservoir banks using remote sensing.

Materials and methods. The data of 1980—1990 on the actual magnitude of bank reprocessing of the Volgograd reservoir were collected, processed and analyzed, and the coastal territory was typified. It is proposed to use remote sensing materials to obtain the values of coastal overbanking for the period from the 1990s to the present time. Forecasting of the process of reformation of reservoir banks is carried out on the basis of application of mathematical statistics methods.

Results. On the basis of solving the set tasks, a universal new methodology for studying and forecasting reservoir bank reformation was proposed. The methodology was tested on the materials of the Volgograd reservoir.

Conclusion. The proposed new methodology makes it possible to obtain data on the dynamics of the Volgograd reservoir bank reformation process and to make a forecast for the next 10 years. This methodology can be used to study the process of bank reformation of large reservoirs.

Keywords: reshaping of reservoir banks, monitoring, remote sensing, engineering-geological zoning, methods of mathematical statistics, process forecasting

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Stepanova M.V., Ekzaryan V.N. Study into the reshaping process of large reservoir banks using remote sensing. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(2):60—68. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-2-60-68>

Manuscript received 27 April 2024

Accepted 25 June 2024

Published 28 June 2024

* Corresponding author

Введение

Создание больших и малых водохранилищ, вызванное размахом строительства гидротехнических сооружений, привело к интенсивному размыву берегов. Основными процессами, которые оказывают отрицательное влияние на береговую инфраструктуру, являются: переформирование берегов, оползни, овражная эрозия, подтопление, заболачивание и другие. Характер распространения и интенсивность указанных процессов на водохранилищах определяются особенностями

зонально-климатических и регионально-геологических условий территорий.

Под непосредственной опасностью размыва оказались многочисленные населенные пункты, промышленные предприятия, отдельные здания и сооружения. Составление генеральных схем освоения прибрежной территории и планирование переноса зданий и сооружений из зоны, находящейся под угрозой, требует детального изучения инженерно-геологических условий территории с целью прогнозирования возможного размыва и потери земель.

Материалы и методы

В 40—70-е годы XX века после строительства ГЭС перед специалистами возникла проблема организации и проведения постоянных наблюдений за развитием природно-техногенных процессов на прибрежных территориях созданных водохранилищ [1].

Создание крупных и малых искусственных водоемов-водохранилищ привело не только к резкому изменению динамики водных масс в естественных водотоках, но также к активизации старых и возникновению новых экзогенных геологических процессов (ЭГП), происходящих в прибрежной зоне водохранилищ.

В частности, наиболее сильное воздействие на береговые склоны водохранилищ Волжского каскада (ВВК) оказывает абразионная переработка. Она приводит к полному разрушению береговой зоны и выведению из землепользования сельскохозяйственных и лесных угодий, а также территорий населенных пунктов [11]. Трудно оцениваемый ущерб наносится при размыве плодороднейших черноземов и урбанизированных территорий. Многолетние наблюдения показывают, что темпы этого процесса имеют устойчивую тенденцию к стабилизации (в отличие от оползневого процесса). Максимальные величины переработки берегов приурочены к начальному периоду эксплуатации водохранилищ, и в настоящее время средняя скорость абразии на размываемых участках ВВК составляет 1,5—5,0 м/год. Пораженность береговых уступов водохранилищ абразионной переработкой различна. Абсолютные значения ее зависят как от интенсивности распространения и развития процесса, так и от размеров водохранилища. Например, для наиболее крупных ВВК протяженность берегов, подверженных переработке, и их доля от общей протяженности береговой линии составляет [12]:

1. Рыбинское водохранилище — 252 км, 10%;
2. Горьковское водохранилище — 630 км, 28%;
3. Куйбышевское водохранилище — 1000 км, 40%;
4. Саратовское водохранилище — 600 км, 40%;
5. Волгоградское водохранилище — 850 км, 57%.

В настоящее время ведутся бессистемные режимные наблюдения за процессами переформирования берегов практически всех ВВК.

Основной целью исследования является разработка методики изучения и прогнозирования процесса переформирования берегов крупных водохранилищ с использованием материалов дистанционного зондирования.

Переформирование берегов водохранилищ представляет собой совокупность воздействия ЭГП, возникающих при создании и эксплуатации водохранилищ и приводящих к деформациям прибрежных территорий [3, 9, 10].

Переформирование берегов водохранилищ приводит к изменению первоначальной формы и положения береговых склонов, подтопленных при образовании водохранилища, выражающееся в разрушении надводной части склона различными факторами и образовании аккумулятивной береговой отмели [8].

Переформирование берегов водохранилищ — процесс сложный и многофакторный. Отдельными учеными выделяется свыше 40 факторов, влияющих на его интенсивность. Для изучения информативности факторов процесса переработки берегов могут использоваться три метода: качественный, графический и количественный.

Качественный метод основан на использовании колоссального объема априорных знаний. Как отмечает Р. Эшби [13], априорная информация включает в себя опыт многих миллионов лет эволюции и частный опыт жизни данного человека и образует своеобразную «предпрограмму», облегчающую человеку решение самых различных задач.

Для оценки информативности факторов процесса переформирования берегов водохранилища использовался метод экспертного опроса. Составленный список-перечень известных нам факторов процесса переработки берегов был распространен среди специалистов, изучающих ЭГП. Каждый специалист, основываясь на собственном опыте и знаниях, разделял все факторы по их значимости в процессе переформирования берегов на три группы: инварианты, коварианты и моноварианты [6].

После специальной обработки материала и проведения повторного опроса специалистов составляется классификация факторов по их значимости в процессе переформирования берегов.

Графический метод. Для изучения особенностей влияния гидрометеорологических факторов на процесс переформирования берегов водохранилищ при решении плоской задачи необходимо подобрать некоторое количество створов, охваченных многолетними стационарными наблюдениями за величиной переработки берега и факторами, определяющими его интенсивность. По выбранным створам собираются в фондах Росгидромета РФ, обрабатываются и рассчитываются показатели гидрометеорологических

параметров (скорость ветра, высота и повторяемость волн, энергия волнения и другие).

Для каждого из выбранных створов необходимо построить графики изменения величин переработки берега и гидрометеорологических факторов во времени.

На основании количественного метода являются наиболее репрезентативные факторы переработки берегов водохранилища (инварианты), определяющие интенсивность изучаемого процесса. С помощью методов корреляционного анализа определяется теснота связи этих факторов с величиной переработки берега. В расчетах, как правило, используются средние значения величины переработки берега и некоторых факторов за определенный (заданный) период наблюдений. Выбор периода обусловлен наличием наибольшей информации о количественных характеристиках факторов и величинах переработки берега по этим створам.

Особое место в исследовании занимает разработка методики прогноза процесса переформирования берегов водохранилищ с помощью методов дистанционного зондирования, поскольку прогнозы имеют непосредственный практический интерес. Кроме того, прогнозирование процесса и проверка прогнозов путем их сопоставления с данными фактических наблюдений позволяет глубже изучить физическую природу процесса и совершенствовать методы его моделирования и прогнозирования.

Методика исследования включает три этапа.

Первый этап представляет собой сбор, анализ и обработку материалов по n-му количеству ключевых участков изучаемого водохранилища за 10-летний период наблюдений. Так, например, по Волгоградскому водохранилищу были подобраны и проанализированы фактические величины переработки берегов (ВПБ) за период 1980—1990-х годов. За тот же период времени по материалам дистанционного зондирования на тех же участках определяются показатели, характеризующие процесс переработки берегов. Обработка информации осуществляется путем сопоставления данных мониторинговых наблюдений и материалов дистанционного зондирования [7].

На втором этапе исследования проводится инженерно-геологическое районирование территории с последующей ее типизацией по степени активности процесса переработки.

Районирование прибрежных территорий водохранилищ по существующим данным мониторинговых наблюдений за 10-летний период

за процессом переработки позволит выделить различные типы участков (рис. 1). Для каждого типа территории вероятностная модель изменения изучаемого процесса будет своя.

В частности, на водохранилищах Волжского каскада выделяются три типа участков:

- высокие склоновые оползни;
- полускальные породы правого берега р. Волги;
- песчано-глинистые склоны надпойменных террас левого берега р. Волги: сарпинской и хвалынской.

Перед районированием территории стоят две задачи: выделение однородных в инженерно-геологическом отношении участков побережья и уточнение их границ по интенсивности процесса переработки берегов.

Для решения первой задачи проводится общее инженерно-геологическое районирование береговой зоны, основанное на известных принципах таксономического районирования, разработанных И.В. Поповым [5]. Однородность выделенных участков при общем районировании определяется рассмотрением основного комплекса инженерно-геологических факторов.

Основной целью общего инженерно-геологического районирования является получение региональной инженерно-геологической характеристики береговой зоны водохранилища.

Н.В. Коломенским [4] и В.В. Дмитриевым [2] было предложено для выделения однородных по интенсивности процесса переформирования берегов водохранилищ (ППБВ) участков использовать принцип районирования по фактической ВПБ. Однако отсутствие равноточных данных о ВПБ по всему периметру водохранилища и различие кинематических характеристик ППБВ для разных створов ставят в практических исследованиях задачу «комплексирования» принципов районирования по ВПБ, или — в общем случае — кинематическим характеристикам ППБВ с принципами районирования по ряду берегоформирующих факторов.

В качестве кинематических характеристик ППБВ можно использовать: ход процесса во времени, в виде кинематических моделей ППБВ; суммарную ВПБ за период существования водохранилища. Однако с помощью этих характеристик можно выделить однородные только в ретроспективе, по отношению к размыву, участки. Различия геолого-гидрометеорологических условий этих участков не дают возможности считать их однородными в перспективе. Поэтому необходимо одновременное проведение типизации береговой



Рис. 1. Пример типизации прибрежной территории по степени активности процесса переработки берега
Fig. 1. An example of typifying a coastal area by the degree of shoreline recycling activity

зоны водохранилища по комплексу факторов, отражающих геолого-литологическое строение и морфологические условия береговых склонов, а также гидрометеорологические характеристики собственно водохранилища (высота и повторяемость волн, ширина длин разгона волн по румбам, скорость ветра, энергия волнения и другие). Только совместный учет этих факторов и условий позволяет выделить однородные в отношении проявления процесса переработки берега участки. Как показал анализ многолетних наблюдений и исследований на ВВК, именно факторы и условия прибрежной территории и акватории определяют интенсивность процесса переформирования береговых склонов и в перспективе используются в качестве исходных данных при моделировании и прогнозировании берегообрушения.

Это можно сделать с помощью рассмотрения при специальном инженерно-геологическом районировании характеристик основных факторов ППБВ, например коэффициента размываемости пород берегового склона, высоты абразионного уступа, энергии волнения и др.

Например, в основу общего инженерно-геологического районирования береговой зоны Волгоградского водохранилища положены принципы таксонометрического районирования И.В. Попова [5].

1. Водохранилище относится к выделенным по структурно-тектоническому признаку регионам:

1.1. Правый берег — VI регион Томковского поднятия;

1.2. Левый берег — IX регион восточной части Прикаспийской флексуры (северная часть) и X регион Прикаспийской синеклизы (южная часть водохранилища).

2. По геоморфологическому признаку выделяются области:

2.1. Правый берег — область приволжских низких гор;

2.2. Левый берег — область Волжских и Каспийских террас (регион IX) и область северо-западной лиманной части Прикаспийской низменности (регион X).

Это тот региональный фон, по которому проводилось, в развитие принципов И.В. Попова, более детальное типологическое районирование.

3. На прибрежных территориях Волгоградского водохранилища выделяется три типа инженерно-геологических районов:

I — распространения четвертичных отложений;

II — распространения палеогеновых отложений;

III — распространения меловых отложений.

Районы I типа занимают все низкое левобережье водохранилища: по правому берегу

он приурочен только к узким долинам волжских притоков. Береговые уступы здесь сложены разнотеррасными и связными породами четвертичного возраста: песками, супесями хазарского яруса ($alQ_{III}srp$), слоистыми «шоколадными» глинами хвалынского яруса ($mQ_{III}hv$), песками и супесями хазарского яруса ($alQ_{III}hz$), обладающими весьма низкой сопротивляемостью размыву.

За 10-летний период существования водохранилища величина переработки берега в районах I типа, как правило, была не менее 50 м, за исключением заливов и зон с полузатопленными островами. Местами же эта величина достигала 200—250 м, что привело к большой потере сельскохозяйственных земель и необходимости переноса жилых домов и целых населенных пунктов.

В отличие от районов I типа районы II и III типов сложены довольно устойчивыми к размыву коренными породами.

Районы II типа охватывают правый берег водохранилища (от южной окраины с. Щербаковка до плотины Волгоградской ГЭС). Береговые уступы сложены нижнесызранскими опоками (Q_1sz_1), среднесызранскими песками (Q_1sz_2), а также песками и песчаниками с прослоями глин камышинской (Q_1k), пролейской (Q_1pr) и царицынской свит (Q_1tz) нижнего и среднего палеогена. Величина переработки берега за 10-летний период колеблется в среднем от 20 до 50 м, местами уменьшаясь до нуля.

Районы III типа включают в себя правый берег водохранилища от г. Саратова до южной окраины с. Щербаковка. Размываемые уступы здесь сложены плотными песками и глинами альбского яруса нижнего мела (K_1al), песками сеноманского (K_2cm), мергелями туронского (K_2t), опоками и глинами сантонского ярусов (K_2cn) верхнего мела.

Характерной особенностью геологического строения этого района является наличие глинистых толщ нижнего мела, являющихся водоупором наиболее водообильного водоносного горизонта, заключенного в вышележащих песках сеноманского яруса. Это обусловило широкое распространение в пределах районов этого типа крупных оползневых деформаций, связанных с местами выхода глинистых толщ выше уреза «старой» Волги. Как правило, ВПБ за 10-летний период не превышает 30 м, а местами размывы практически отсутствуют.

4. Инженерно-геологические районы по геоморфологическим условиям расчленены на участки. В пределах береговой зоны Волгоградского водохранилища имеют место два основных типа гео-

морфологических поверхностей: волжские террасы и водораздельные пространства (и, соответственно, два типа участков: А и Б).

Участки типа А объединяют в себе прибрежные территории распространения только аккумулятивных форм рельефа (надпойменные террасы р. Волги и ее притоков). Участки типа Б включают в себя как высокие эрозионно-аккумулятивные террасы, так и водораздельные пространства.

5. По признаку генетического типа склона выделены инженерно-геологические подучастки (обвальнo-осыпные и оползневые). Весь район I типа, а также некоторые участки районов второго и третьего типов включают в себя только один генетический тип берегового склона — обвальнo-осыпной. В районе III типа наблюдаются оба генетических типа склона, причем оползневый является господствующим.

Полученные материалы являются основой при выборе типов ключевых участков, по которым с использованием метода приближенного инженерно-геологического подобия можно осуществить прогнозирование процесса переформирования берегов водохранилищ.

Третий этап — создание вероятностных моделей проявления процесса переформирования берегов водохранилищ.

С помощью методов математической статистики [11] фактическую величину переработки берега (среднюю по участку) сравнивают с величиной берегообрушения, полученной с помощью дешифрирования материалов дистанционного зондирования за тот же период времени по данной территории. Полученные регрессионные уравнения являются математическими моделями, отражающими связь фактических ВПБ с данными дистанционного зондирования, а коэффициенты корреляции отражают степень этой связи [7].

Необходимо провести сравнительный анализ процесса переработки берегов по выделенным типам во времени. При идентичном протекании процесса можем говорить о том, что типы выделены по геолого-литологическому строению склона, которые отражают физику процесса и могут быть использованы в качестве критериев подобия.

Сопоставление полученных данных позволяет сделать вывод о наличии взаимосвязи между показателями фактических наблюдений за переработкой берегов водохранилищ и данными, полученными в результате дешифрирования материалов дистанционного зондирования, а также используется для построения математической модели взаимосвязи материалов дистанци-

онного зондирования с ВПБ за заданный период времени.

С учетом этого по выявленным закономерностям для идентичных по геолого-литологическому строению береговых склонов возможно сделать предварительный прогноз переработки берегов, используя только данные дистанционного зондирования.

Таким образом, материалы дистанционного зондирования становятся дополнительной основой получения мониторинговых режимных наблюдений за процессом переформирования берегов водохранилищ.

Для решения основной задачи работы — составления прогнозов процесса переформирования берегов водохранилищ используем метод стохастических моделей. Стохастические модели могут быть двух видов: кинематические и динамические. Стохастический характер модели означает: во-первых, прогноз по ним составляется в вероятностном аспекте и, во-вторых, вероятностно-статистическими методами.

Кинематическая модель ППБВ (денудационной части процесса) в общем виде записывается:

$$y = f(t),$$

где y — величина переработки берега, м; t — время.

Зная характер эмпирических кривых для различных водохранилищ на разные сроки, можно заметить, что они могут быть аппроксимированы различными видами функций (линейной, показательной, степенной, логарифмической и др.).

Построение динамических стохастических моделей процесса переработки берега существующих водохранилищ проводится по следующей методической схеме:

- 1) постановка геологической задачи (выбор геологической модели);
- 2) постановка математической задачи (выбор вида математической модели);
- 3) решение математической задачи;
- 4) геологическая интерпретация математического решения.

В перспективе модели перманентно будут пополняться материалами фактических данных и материалами дистанционного зондирования.

Результаты исследования и их обсуждение

Решение поставленных задач позволит разработать универсальную методику изучения и прогнозирования переформирования берегов водохранилищ. С помощью инженерно-геологического районирования и типизации прибрежных территорий возможно выделить различные типы ключевых участков для проведения сравнительного анализа с материалами дистанционного зондирования за определенный период наблюдений.

Сопоставление данных позволит установить взаимосвязь между фактическими наблюдениями и показателями, полученными при дешифрировании материалов дистанционного зондирования, материалы которых в дальнейшем лягут в основу построения математических моделей для выявленных типов участков, по которым с использованием метода приближенного инженерно-геологического подбора можно осуществить предварительный прогноз процесса переработки берегов водохранилищ.

Заключение

Методика изучения и прогнозирования процесса переформирования берегов крупных водохранилищ с использованием материалов дистанционного зондирования позволит восполнить мониторинговые данные протекания процесса переформирования берегов водохранилищ с середины 1990-х годов по настоящее время, а также дать предварительный прогноз процесса на последующие годы. Так, например, с середины 1990-х годов сеть режимных наблюдений за процессом переформирования на водохранилищах Волжского каскада пришла в упадок. Благодаря предлагаемой методике можно проследить динамику процесса за годы, когда мониторинговые наблюдения не проводились.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Адас М.М., Комаров И.С., Экзарьян В.Н.* Проблема контроля изменений геологической среды в зоне влияния гидротехнических сооружений // Проблемы биосферы. Информационный бюллетень 1985. № 10. С. 5—14.
2. *Дмитриев В.В.* Исследование факторов, влияющих на переработку берегов водохранилищ: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1974.
3. *Инженерная геодинамика / Ред. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярг Л.А.* М.: Изд-во: КДУ, 2015.
4. *Коломенский Н.В.* Применение идеи о формациях при инженерно-геологическом картировании // Известия высших учебных заведений «Геология и разведка». 1970. № 4. С. 77—83.

5. Попов И.В. Инженерная геология СССР. Часть 1. М.: Изд-во МГУ, 1961.
6. Розовский Л.Б. Введение в теорию геологического подобия и моделирования. М.: «Недра», 1969.
7. Степанова М.В. Особенности переформирования берегов Волгоградского водохранилища // «Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории земли — 2023»: сб. мат-лов Междунар. науч.-практич. конф., Москва, 12—13 октября 2023 года. М.: НИМГСУ, 2023. С. 131—133.
8. СТО 70238424.27.140.042-2009: Гидроэлектростанции. Долговременные наблюдения за развитием техноприродных процессов в зоне взаимодействия оснований и сооружений. Нормы и требования.
9. Трофимов В.Т. Инженерная геология. М.: Изд-во МГУ, 2023, 573 с.
10. Трофимов В.Т. Теоретические аспекты инженерной геологии // Инженерная геология. 2019. Т. 14, № 3. С. 79.
11. Экзарьян В.Н. Перманентное моделирование и прогнозирование экзогенных геологических процессов. — Тр. Международной конференции «Проблемы инженерной геодинамики и экологической геодинамики», М., МГУ, 2006 г.
12. Экзарьян В.Н., Степанова М.В. Переформирование берегов водохранилищ как фактор социально-экологической опасности // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: мат-лы 8 науч.-практич. конф., Воронеж, 10—13 сентября 2023 года. Воронеж: «Кварта», 2023. С. 113—115.
13. Ashby M.F. Materials selection in mechanical design (2nd ed.). Oxford, OX: Butterworth-Heinemann, 1999. P. 407. ISBN 0-7506-4357-9. OCLC 49708474.

REFERENCES

1. Adas M.M., Komarov I.S., Ekzaryan V.N. The problem of controlling changes in the geological environment in the zone of influence of hydraulic structures // Problems of the biosphere. Information Bulletin 1985. No. 10. P. 5—14.
2. Dmitriev V.V. Study of factors influencing the processing of reservoir banks. Moscow, 1974.
3. Engineering geodynamics / Eds. Bondarik G.K., Pendin V.V., Yarg L.A. Moscow: Publishing house KDU, 2015
4. Kolomensky N.V. Application of the idea of formations in geotechnical mapping // Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 1970. No. 4. P. 77—83.
5. Popov I.V. Engineering geology of the USSR. Part 1. Moscow State University Publishing House, 1961.
6. Rozovsky L.B. Introduction to the theory of geological similarity and modeling. Moscow: “Nedra”, 1969.
7. Stepanova M.V. Features of reshaping the banks of the Volgograd Reservoir // Geoecological problems of the technogenic stage of the history of the earth — 2023: Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference, Moscow, October 12—13, 2023. Moscow: National Research Moscow State University of Civil Engineering, 2023. P. 131—133.
8. СТО 70238424.27.140.042-2009: Hydroelectric power plants. Long-term observations of the development of techno-natural processes in the zone of interaction between foundations and structures. Norms and requirements.
9. Trofimov V.T. Engineering geology. Moscow: Moscow University Publishing House, 2023, 573 p.
10. Trofimov V.T. Theoretical aspects of engineering geology // Engineering Geology. 2019. T. 14, no. 3. P. 79.
11. Ekzaryan V.N. Permanent modeling and forecasting of exogenous geological processes // Proceedings of the International conference “Problems of engineering geodynamics and environmental geodynamics”. Moscow: Moscow State University, 2006.
12. Ekzaryan V.N., Stepanova M.V. Reformation of the banks of reservoirs as a factor of socio-ecological danger // Environmental geology: theory, practice and regional problems: Materials of the eighth scientific and practical conference, Voronezh, September 10—13, 2023. Voronezh: “Kvarta”, 2023. P. 113—115.
13. Ashby M.F. Materials selection in mechanical design (2nd ed.). Oxford, OX: Butterworth-Heinemann, 1999. P. 407. ISBN 0-7506-4357-9. OCLC 49708474.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Степанова М.В. — внесла основной вклад при выполнении исследования (сбор, анализ и обработка материалов, проведение инженерно-геологического районирования, разработка методики прогноза процесса переформирования берегов водохранилищ с помощью методов дистанционного зондирования), подготовила текст статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Maria V. Stepanova — Made the main contribution to the research (collection, analysis and processing of materials, engineering-geological zoning, development of a methodology for forecasting the process of reservoir bank reformation using remote sensing methods), prepared the text of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Экзарьян В.Н. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Vladimir N. Ekzaryan — Made a major contribution to the conceptualization of the article, gave final approval of the published version of the article, and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Степанова Мария Владимировна* — аспирант ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: Stepanova-Mariya2702@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4917-5649>

Maria V. Stepanova* — postgraduate student, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: Stepanova-Mariya2702@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4917-5649>

Экзарьян Владимир Нишанович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: vnekzar@rambler.ru
SPIN-код: 7968-3231
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3961-8003>

Vladimir N. Ekzaryan — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Professor, Head of the Department of Ecology and Nature Management, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: vnekzar@rambler.ru
SPIN-code: 7968-3231
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3961-8003>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author