

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-105-111>
УДК 627.157.002: 626/627



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Б.И. Корженевский, Н.В. Коломийцев[✉], Г.Ю. Толкачев

Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»); 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

Аннотация. *Цель исследований:* оценка физической сущности процессов и действий, необходимых для безаварийной эксплуатации гидротехнических сооружений и комфортного использования селитебных территорий; уточнение с энергетических позиций ряда характеристик рассматриваемых процессов. В последние века, и особенно в последние десятилетия, в связи с повышающейся антропогенной активностью возникло множество природно-техногенных структур. На фоне всегда существующих природных склоновых процессов техногенное воздействие наложило дополнительные характеристики на их закономерности. Обычно на начальных стадиях антропогенное воздействие приводит к активизации нежелательных склоновых процессов, и реже – к их затуханию при инженерной подготовке территории на первых этапах освоения. Рассмотрены энергетические характеристики эволюции этих процессов: в меньшей степени – в естественных условиях, в большей степени – в пределах современных природно-техногенных структур, значительное количество которых является гидротехническими сооружениями. Городские и поселковые агломерации, автомобильные, железнодорожные и прочие коммуникации, сельскохозяйственные комплексы и другие объекты жизнедеятельности предусматривают изменение энергетических характеристик склонов в пределах вновь возникающих и дополняемых в процессе эволюции природно-техногенных структур. Представлены характеристики перемещения аллювиальных отложений в пределах техногенной измененных русел малых рек. Рассмотрен путь движения одной, наиболее нежелательной частицы-загрязнителя в геоэкологической системе – агрегата с депонированными в нем тяжелыми металлами, попавшими в грунтовую толщу вследствие жизнедеятельности человека. На схеме представлено движение загрязнителя от момента гипотетического поступления в геологическую среду в результате жизнедеятельности человека до депонирования в тонкой фракции донных отложений водных объектов, потенциальным барьером для которой обычно являются донные отложения в приплотинной зоне.

Ключевые слова: склоны, энергетические характеристики процесса, загрязнение, тяжелые металлы, энергетические ловушки, потенциальные барьеры

Формат цитирования: Корженевский Б.И., Коломийцев Н.В., Толкачев Г.Ю. Энергетические характеристики для оценки геоэкологической безопасности при эксплуатации гидротехнических сооружений // Природообустройство. 2025. № 2. С. 105-111. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-105-111>

Scientific article

ENERGY CHARACTERISTICS FOR ASSESSING GEOECOLOGICAL SAFETY DURING OPERATION OF HYDRAULIC STRUCTURES

B.I. Korzhenevskiy, N.V. Kolomiitsev[✉], G.Yu. Tolkachev

Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov (Federal State Budgetary Scientific Institution FNC VNIIGiM named after A.N. Kostyakov), 44 Bolshaya Akademicheskaya str., Building 2, Moscow, 127434 Russia

Abstract. Research objective: assessment of the physical essence of processes and actions necessary for trouble-free operation of hydraulic structures and comfortable use of residential areas; clarification of a number of characteristics of the processes under consideration from the energy point of view. In recent centuries, and especially decades, due to the increasing anthropogenic activity, many natural and man-made structures have emerged. Against the background of always existing natural slope processes, man-made impact has imposed additional characteristics on their patterns. Usually, in the initial stages, anthropogenic impact leads to the activation of undesirable slope processes, and less often to their attenuation during the engineering preparation of the territory at the first stages of development. The energy characteristics

of the evolution of these processes are considered, to a lesser extent in natural conditions, to a greater extent within the limits of modern natural and man-made structures, a significant number of which are hydraulic structures. Urban agglomerations, automobile, railway and other communications, agricultural complexes and other vital objects provide for a change in the energy characteristics of slopes within the newly emerging and supplemented natural and man-made structures in the process of evolution. The characteristics of the movement of alluvial deposits within the limits of the technogenically altered beds of small rivers are presented. The path of movement of one of the most undesirable pollutant particles in the geoecological system is considered – an aggregate with heavy metals deposited in it, trapped in the ground due to human activity. The figures shows the movement of the pollutant from the moment of hypothetical entry into the geological environment as a result of human activity to deposition in a thin fraction of sediments of water bodies, a potential barrier to which is usually sediments in the dam zone.

Keywords: slopes, energy characteristics of the process, pollution, heavy metals, energy traps, potential barriers

Format of citation: Korzhenevskiy B.I., Kolomiitsev N.V., Tolkachev G.Yu. Energy characteristics for assessing geoecological safety during operation of hydraulic structures // Prirodoobustroystvo. 2025. № 2. P. 105-111. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-105-111>

Введение. Целью работы является оценка физической сущности процессов и действий, необходимых для безаварийной эксплуатации гидротехнических сооружений и комфортного использования селитебных территорий. Специалисты по склоновым экзогенным процессам нечасто прибегают к изучению физики процессов на прикладном уровне, из редких крупных исследований в этом направлении отметим работы [1-4]. Многочисленные расчеты физических характеристик исследуемых гидрогеологических и экзогенных процессов и явлений на «фундаментальном уровне» хорошо работают в средах, близких к идеальным. Целью исследований являлось уточнение с энергетических позиций ряда характеристик рассматриваемых процессов. Предложенный ниже энергетический подход – далеко не панацея, но он позволяет на качественном уровне «уложить на разные чаши весов» факторы, предупреждающие развитие рассматриваемых склоновых процессов, и факторы, определяющие их развитие.

Цель исследований: оценка физической сущности процессов и действий, необходимых для безаварийной эксплуатации гидротехнических сооружений и комфортного использования селитебных территорий; уточнение с энергетических позиций ряда характеристик рассматриваемых процессов.

Материалы и методы исследований. Представлены некоторые особенности развития наиболее распространенного склонового процесса – поверхностного смыва. При его развитии в водные объекты попадают тяжелые металлы – продукты эпохи индустриализации. С середины прошлого века бассейны крупных рек Европейской части России трансформировались в природно-техногенные структуры в результате

гидротехнического строительства. Они зарегулированы комплексом плотин электростанций, системой шлюзов. На берегах рек значительно возросла техногенная нагрузка от селитебных агломераций, объектов промышленной и сельскохозяйственной деятельности. Основные этапы экспериментальных работ проводились в бассейне Верхней Волги для определения характеристик загрязнения донных отложений тяжелыми металлами и в пределах города Ялты на двух ручьях: Быстрая (Дерекойка) и Водопадная (Учан-су), которые в нижнем течении являются по сути гидротехническими сооружениями в течение более века.

В работе [5] отмечается, что в геодинамическом комплексе противодействуют две категории энергии: статическая энергия внутренних прочностных связей в твердых телах и энергия гравитации, стремящаяся разрушить эти связи. Третий вид энергии – активационная энергия тела – энергия, необходимая для вывода частицы или более крупного геологического тела из существующего состояния.

Взаимодействие отдельных частиц и тел выражается в форме трения. В целом же внешнюю энергию геодинамического комплекса можно считать единой термодинамической системой. Внутренняя энергия представляет собой геодинамические поля, действующие между отдельными атомами и молекулами внутри геодинамического комплекса и зависящие от гравитационной энергии земли, подчиняющиеся последней в объеме всего геодинамического комплекса или его элементов.

«Внутренняя электромагнитная энергия компонентов геодинамического комплекса складывается из сил притяжения и отталкивания между атомами и молекулами. Сила притяжения

определяет степень устойчивости пород – сопротивление истиранию и раскалыванию. Силы отталкивания – степень сопротивления упругим и пластическим деформациям. Прочностные структурные связи – энергия, накопленная грунтами за время их седиментации, диагенеза, метаморфизма... Энергия внутренних электромагнитных прочностных связей грунтов противостоит гравитационной энергии масс грунтов, вод, попадающих на поверхность рельефа и проникающих в грунтовую толщу. Энергия внутренних связей равна внешней энергии, необходимой для того, чтобы эти связи разрушить. Это положение является основой энергетического баланса геодинамического комплекса» [6].

Нами внутренняя энергия оценивается как энергия связей грунтовой толщи (геодинамического комплекса), под которой понимается комплексный показатель прочности, вязкости, липкости, сопротивления трению и др., далее $-E_{\text{св}}$ [7-9]. В общем виде наибольшей $E_{\text{св}}$ обладают грунты с ионным типом связей (скальные), наименьшей $E_{\text{св}}$ – грунты с молекулярным типом связей (дисперсные). Величина $E_{\text{св}}$ определяется условиями осадконакопления, диагенеза и катагенеза и их эпигенетическими трансформациями. Переход из области влияния внутренних энергий устойчивости в область внешней энергии гравитации происходит путем преодоления различных энергетических барьеров [6].

Применяемый специалистами термин «энергия рельефа» [10, 11] означает по сути «мощность рельефа», что более соответствует физической сущности, так как является отражением работы, затраченной за определенное (геологическое) время для создания современного облика геологического тела [7]. В зависимости от среды, в которой формировалась грунтовая толща, от минерального состава отложений, от условий диагенеза затрачивается определенная физическая работа на формирование различных видов связей в грунтовой толще. Соответственно затрачивается работа и на последующую «жизнь» этой толщи. Также работа затрачивается и на разрушение уже сформировавшихся связей при выветривании. В общем виде мощность рельефа можно представить соотношением [8]:

$$E_e = A_{\text{св}}/t_{\text{св}} + A_o/t_o - A_b/t_b,$$

где E_e – полная мощность рельефа; $A_{\text{св}}$ – работа, затраченная на установление связей; A_o – работа, затраченная на воздымание объекта на его современную высоту; A_b – работа, затраченная на выветривание; $t_{\text{св}}$, t_o и t_b – время, за которое совершалась работа по установлению структурных связей, подъему геологического тела на современную высоту и выветривание геологического тела соответственно.

Из формулы следует, что чем выше $A_{\text{св}}$, A_o и t_b и, соответственно, чем ниже A_b , $t_{\text{св}}$ и t_o , тем выше мощность рельефа. Это в упрощенном виде можно представить так: чем меньше прошло времени от начала формирования осадка и чем выше склоны, тем выше мощность рельефа, и наоборот.

С изложенных позиций достаточно просто объяснить ограниченные размеры геологических тел и мощность процессов, в которых участвуют эти тела энергетической ограниченностью. При увеличении размеров геологического тела вес возрастает быстрее, чем прочность: первое – пропорционально кубу, второе – квадрату, то есть чем меньше размер геологического тела, тем выше его относительная прочность [8]. Для начала перемещения геологического тела вниз по склону необходимо некоторое количество $E_{\text{ак}}$. В целом мгновенное состояние геологического тела (агрегата, частицы) можно определить по соотношению $E_{\text{гр}}$ и $E_{\text{св}}$:

– устойчивое состояние геологического тела, агрегата или частицы при $E_{\text{гр}}$ меньше $E_{\text{св}}$;

– смещение геологического тела, агрегата или частицы вниз по склону до энергетической ловушки или потенциального барьера при $E_{\text{гр}}$, большей, чем $E_{\text{св}}$;

– унаследование массивом предшествующего состояния при равенстве $E_{\text{гр}}$ и $E_{\text{св}}$ [8].

Природные факторы, как и техногенные, могут оказывать двоякое влияние на изменение $E_{\text{гр}}$ и $E_{\text{св}}$ грунтовой толщи: повышать или понижать их в различных соотношениях. Повышение $E_{\text{гр}}$ может осуществляться за счет: а) повышения веса геологического тела; б) за счет внешних, направление которых совпадает с направлением вектора наиболее энергетически выгодного перемещения геологического тела, частицы или агрегата. Увеличение веса чаще всего происходит при попадании дополнительного объема жидкости в геологическое тело, а в последние десятилетия – и при техногенном воздействии. Наряду с механическим повышением веса тела возможно его расчленение на меньшие по размеру объекты вследствие растрескивания грунтовой толщи. Положение центра масс возникших агрегатов в этих случаях относительно потенциального барьера у некоторых повышается, у других понижается, то есть более мелкие объекты будут обладать индивидуальными характеристиками при движении вниз по склону в отличие от ранее существовавшего агрегата.

Наряду с отмеченными выше природными и техногенными факторами определенную роль в энергетических характеристиках склонов играют внутригодовые и многолетние

колебания напряженного состояния грунтовой толщи. Первые обусловлены ротационным режимом земли [9, 12], и в упрощенном варианте осенью отмечается незначительное увеличение полостного пространства, что в совокупности с сезонными дождевыми осадками вызывает повышение $E_{гр}$ агрегатов и понижение $E_{св}$ вследствие размокания на склоне осенью. Вследствие зимнего промерзания влажных грунтов их объем увеличивается, и разрушаются некоторые внутриагрегатные связи, что при протаивании толщи весной и, соответственно при понижении $E_{св}$, способствует более активному размоканию и размыванию грунтовой толщи. Если осенью, в период увеличения полостного пространства, осадков выпало мало, вышеперечисленные процессы, способствующие разрушению грунтов, существенно менее активны. При сезонном сжатии грунтового массива происходят процессы обратной, описанной выше направленности. Многолетние изменения напряженного состояния определяют в отличие от внутригодовых циклов общую тенденцию движения грунтовых агрегатов и частиц на склонах.

Ручьи Быстрая и Водопадная летом 2021 г. в результате наиболее интенсивных ливней за период гидрометеорологических наблюдений явились участниками природно-техногенной аномалии, подробно рассмотренной в работе [13]. За последующие годы на этих водотоках произошла существенная техногенная эволюция русловых частей, связанная с уборкой аллювиальных отложений, которая имела как положительные, так и резко отрицательные последствия. Так, на р. Быстрая в пределах 1,5 км от устья были убраны аллювиальные отложения из энергетических ловушек – техногенных порогов, расположенных ортогонально искусственным бортам водотоков, суть которых – концентрация аллювиальных отложений в паводковые периоды. В настоящее время эти энергетические ловушки выполняют свои функции, постепенно заполняясь влекомыми наносами, не допуская их поступления в акваторию порта. Отметим, что вследствие паводка 2021 г все эти сооружения оказались переполненными, а конус выноса в пределах портовых сооружений достиг максимальных объемов за период наблюдений и возвышался над морской поверхностью в портовой зоне на 1,0-1,5 м. Впоследствии он был убран спецтехникой. В настоящее время энергетические ловушки в гидротехнически обустроенной части реки постепенно заполняются аллювиальными отложениями, препятствуя их поступлению на территорию портовых сооружений.

Более неоднозначной является ситуация в русле р. Водопадная. На значительной протяженности техногенной части русла, борта которого камнетесы создали более века назад и которые успешно выдерживали все ранее случавшиеся паводки, русловые отложения были убраны без ущерба для техногенных бортов, но не везде. Русловая часть во второй половине XX в. была забетонирована.

На рисунке 1 приведены этапы эволюции одного из участков русла по состоянию от начала 2021 г. до 2025 г. В течение устранения последствий паводка, в результате безграмотного отбора аллювиальных отложений, был уничтожен потенциальный барьер для техногенных бортов водотока – аллювиальные отложения, на которых и были установлены эти борта. Оказавшись в «подвешенном» состоянии, они в результате паводков и дождей достигли ситуации превышения $E_{гр}$ над $E_{св}$ и обрушились. Следует отметить, что борта водотока, построенные более века назад, продержались несколько дольше, чем рядом расположенный участок, восстановленный после разрушения в 2021 г.

Загрязнение дневной поверхности склонов и донных отложений водных объектов тяжелыми металлами является нежелательной геоэкологической ситуацией. В регионах без месторождений таких металлов основным источником их появления является антропогенная деятельность. При поверхностном стоке энергетически наиболее выгодная ситуация связана с размоканием и размыванием (понижением $E_{св}$), намоканием (повышением $E_{гр}$). Активационной энергией ($E_{ак}$) в этом случае является водный поток, который может быть вызван как весенним снеготаянием, так и дождями [10]. Поток является и транспортирующим фактором, причем энергетически наиболее выгодно транспортировать мелкие частицы и агрегаты, которые являются или впоследствии становятся сорбентами для тяжелых металлов [14].

При движении вниз по склону, а затем по русловой части водного объекта частица (агрегат, геологическое тело) преодолевает в течение продолжительного времени ряд энергетических ловушек. Ускорение или замедление этого процесса определяет привнос $E_{ак}$, который определяется как внутрисезонными, так и многолетними изменениями природных и техногенных воздействий. Конечный пункт перемещения частицы – потенциальный барьер, который чаще всего представлен дамбами и плотинами [8] и преодолеть который загрязненный элемент донных отложений может лишь при аномальном поступлении

$E_{ак}$. Последняя может быть вызвана как целенаправленной деятельностью человека (например, уборка иловатых отложений водного объекта из зоны преобладающего осадконакопления), так и событиями на уровне чрезвычайных ситуаций, связанных с прораном и последующим разрушением его дамбы в результате природно-техногенных воздействий.

Необходимо подчеркнуть, что тяжелые металлы, адсорбированные на тонкодисперсных

частицах в донных отложениях, могут участвовать в процессах массопереноса в системе «Твердая фаза – поровый раствор – вода – твердая фаза» [15, 16]. Это зависит от изменения $E_{ак}$: меняющегося соотношения приходной и расходной составляющих баланса веществ, гидродинамической обстановки в придонном слое, физико-химических условий в верхнем слое донных отложений [17, 18]. Блок-схема движения частицы-загрязнителя представлена на рисунке 2.



Рис. 1. Эволюция русла реки Водопадная:

а – полгода до паводка, аллювиальные отложения накапливались десятки лет;
б – разрушения восстановленного после паводка борта; в – разрушения восстановленного и ранее существовавшего борта (общая протяженность – более 100 м)

Fig. 1. Evolution of the Vodopadnaya riverbed:

a – six months before the flood, alluvial deposits accumulated for decades; b – destruction of the side restored after the flood; c – destruction of the restored and pre-existing side (total length of more than 100 m)

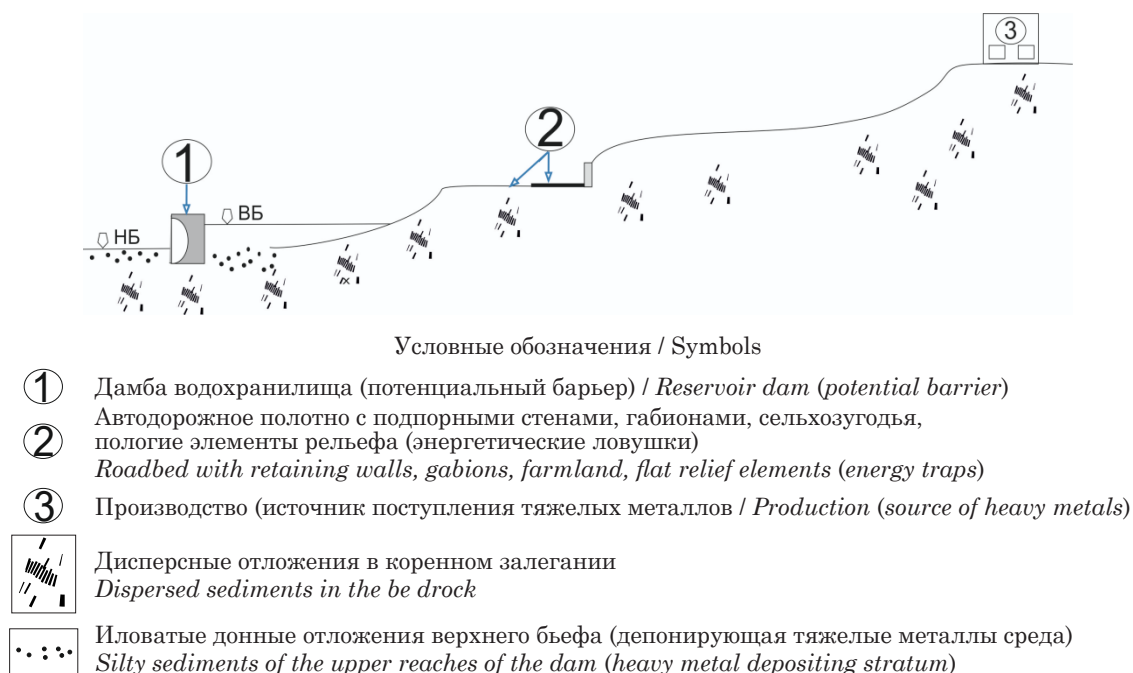


Рис. 2. Блок-схема движения загрязнителя от места поступления на склон до потенциального барьера

Fig. 2. Block diagram of the movement of the pollutant from the point of entry on the slope to the potential barrier

Движение загрязняющей частицы следующее. Источником поступления загрязнения (п. 3 на рис. 2) могут быть производство, сельскохозяйственные угодья, магистральные путепроводы, селитебные зоны и др. Под воздействием $E_{ак}$ загрязнитель движется вниз, попадая в энергетические ловушки (п. 2 на рис. 2), которыми могут быть депрессии в рельефе склона и различные сооружения. При поступлении дополнительной $E_{ак}$ загрязнитель из энергетической ловушки перемещается и попадает в потенциальный барьер, которым обычно бывает плотина гидротехнического сооружения (п. 1 на рис. 2). Загрязнитель может депонироваться в пределах потенциального барьера неограниченно долго.

Выводы

1. При гидротехническом строительстве, предусматривающем комфортное проживание в пределах селитебных зон, реки нередко оформляются в техногенные структуры, направленные на предотвращение чрезвычайных ситуаций. При корректном выполнении такие структуры хорошо справляются с выполнением своих функций практически всегда, предохраняя селитебные и промышленные городские участки от подтопления, берега рек – от эрозии, а портовые сооружения – от залпового поступления речных

наносов при паводках, концентрируя их в энергетических ловушках. При несвоевременной уборке аллювиальных отложений из русловых частей и некорректном выполнении гидротехнических работ последствия бывают отрицательными. Так, на одном из участков р. Водопадной в г. Ялте разрушение в результате безграмотного выполнения работ техногенных бортов, просуществовавших в течение более века, представляет дальнейшую угрозу активно эксплуатируемой автомобильной дороге и парку с полуторавековой историей.

2. В движении тяжелых металлов-загрязнителей вниз по склону от места поступления до потенциального барьера наиболее активное участие принимает $E_{ак}$ в виде временных водотоков (поверхностного и ручейкового смыва). На некоторое время загрязнители попадают в энергетические ловушки – западины в рельефе, поля, подпорные стены и пр. При более высокой $E_{ак}$ загрязнители достигают потенциальных барьеров, которыми на суше чаще всего являются дамбы, плотины водных объектов. Тяжелые металлы в донных отложениях в пределах потенциальных барьеров при определенных энергетических условиях участвуют в процессах массопереноса в системе «Твердая фаза – поровый раствор – вода – твердая фаза».

Список использованных источников

1. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. 256 с.
2. Полунин Г.В. Динамика и прогноз экзогенных геологических процессов. М.: Наука, 1989. 232 с. ISBN 5-02-003271-9
3. Селюков Е.И. Краткие очерки практической микрогеодинамики / Е.И. Селюков, Л.Т. Стигнеева. СПб.: Питер, 2010. 176 с.
4. Шейдеггер А.Е. Физические аспекты природных катастроф / Пер. с англ. А.А. Варги. М.: Недра, 1981. 232 с.
5. Уилкинсон Д., Пайерлс Р. Льюэллин-Смит К. и др.; под ред. Дж. Малви; пер. с англ. В.П. Павлова, Ю.Г. Рудого; под ред. М.: Мир, 1984. 312 с.
6. Полунин Г.В. Экзогенные геодинамические процессы гумидной зоны умеренного климата (физические аспекты экзогенных процессов). М.: Наука, 1983. 347 с.
7. Корженевский Б.И. Зональность энергетического потенциала – основа для прогноза гравитационных процессов в горном регионе / Сб. научных трудов: Методы регионального инженерно-геологического прогнозирования. М.: Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1989. С. 136-146.
8. Корженевский Б.И. Миграция тяжёлых металлов в речных бассейнах и определяющие её факторы // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2018. № 3(155). С. 87-91.
9. Селюков Е.И. Глубинная энергетическая зональность склонов и развитие гравитационных процессов (на примере Южного берега Крыма) / Е.И. Селюков,

References

1. Bondarik G.K. General theory of engineering (physical) geology. Moscow: Nedra, 1981. 256 p.
2. Polunin G.V. Dynamics and forecast of exogenous geological processes. Moscow: Nauka, 1989. 232 p.
3. Selyukov E.I., Stigneeva L.T. Brief essays on practical microgeodynamics. St. Petersburg: Piter, 2010. 176 p.
4. Scheidegger A.E. Physical aspects of natural disasters. Moscow: Nedra, 1981. 232 p.
5. Wilkison D., Peierls R., Lullin-Smith K., Perkins D., Salam A., Ellis J., Adams J., Gellman M. The fundamental structure of matter. Moscow: Mir Publishing House, 1984. 312 p.
6. Polunin G.V. Exogenous geodynamic processes of the humid zone of temperate climate (physical aspects of exogenous processes). Moscow: Nauka, 1983. 347 p.
7. Korzhenevskiy B.I. Zonality of energy potential – the basis for forecasting gravitational processes in a mountainous region / Methods of regional engineering and geological forecasting. Moscow: VSEGIN GEO Publishing House, 1989. P. 136-146.
8. Korzhenevskiy B.I. Migration of heavy metals in river basins and its determining factors // Use and protection of natural resources in Russia. 2018. No. 3(155). P. 87-91.
9. Selyukov E.I., Korzhenevskiy B.I. Deep energy zonality of slopes and the development of gravitational processes (on the example of the Southern coast of Crimea) // Bulletin of the Moscow Society of Nature Testers. Department of Geology. 1990. Vol. 65. No. 5. P. 102-107.

Б.И. Корженевский // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 1990. Т. 65. № 5. С. 102-107.

10. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна: монография / Под ред. А.С. Керженцева, Р. Майснера. М.: Наука, 2006. 224 с.

11. Опасные экзогенные процессы / Под ред. В.И. Осипова. М.: Изд-во ГЕОС, 1999. 289 с.

12. Гарбар Д.И. Две концепции ротационного происхождения регматической сети // Геотектоника. 1987. № 1. С. 107-108.

13. Корженевский Б.И. Паводок в Ялте летом 2021 года и последующая эволюция природно-техногенной части речных русел // Экологические системы и приборы. 2023. № 1. С. 36-42.

14. Экологические функции литосферы. Монография. / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2000. 432 с.

15. Косов В.И. Исследование распределения тяжелых металлов в донных отложениях оз. Селигер / В.И. Косов, И.В. Косова, В.В. Левинский, Г.Н. Иванов, А.И. Хильченко // Водные ресурсы. 2004. Том 31. № 1. С. 51-59.

16. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР: Уч. пособие для студ. геогр. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1988. 328 с.

17. Мур Дж.В. Тяжелые металлы в природных водах / Дж.В. Мур, С. Рамамурти; пер. с англ. Д.В. Гричука [и др.]; под ред. Ю.Е. Саета. М.: Мир, 1987. 288 с.

18. Манихин В.И. Растворенные и подвижные формы тяжелых металлов в донных отложениях пресноводных экосистем / В.И. Манихин, А.М. Никаноров. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 182 с. ISBN 5-286-01442-9.

10. Modeling of erosion processes in the territory of a small catchment area / Edited by A.S. Kerzhentsev, R. Meissner. Moscow: Nauka, 2006. 224 p.

11. Dangerous exogenous processes / Edited by V.I. Osipov. Moscow: GEOS Publishing House, 1999. 289 p.

12. Garbar D.I. Two concepts of the rotational origin of the regmatic network // Geotectonics. 1987. No. 1. P. 107-108.

13. Korzhenevskiy B.I. Flood in Yalta in the summer of 2021 and the subsequent evolution of the natural and man-made part of river channels // Ecological systems and devices. 2023. No. 1. P. 36-42.

14. Ecological functions of the lithosphere / Edited by V.T. Trofimov. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 2000. 432 p.

15. Kosov V.I. Study of heavy metals distribution in the bottom sediments of Lake Seliger / V.I. Kosov, I.V. Kosova, V.V. Levinsky, G.N. Ivanov, A.I. Khilchenko // Water Resources. 2004. Vol. 31. No. 1. C. 51-59.

16. Glazovskaya M.A. Geochemistry of natural and man-made landscapes of the USSR: Study guide for students. geography of special universities. Moscow: Higher School, 1988. 328 p.

17. Moore J.V., Ramamoorthy S. Heavy metals in natural waters. Moscow: Mir Publishing House, 1987. 288 p.

18. Manikhin V.I. Dissolved and mobile forms of heavy metals in the sediments of freshwater ecosystems / V.I. Manikhin, A.M. Nikanorov. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2001. 182 p.

Об авторах

Борис Игоревич Корженевский, канд. геол. – мин. наук, старший научный сотрудник; ORCID: 0000-0001-7663-9677; Scopus: 57195526993; SPIN-код: 4475-8455, AuthorID: 350982; 542609@list.ru

Николай Владимирович Коломийцев, канд. геол. – мин. наук, заведующий отделом; ORCID: 0000-0001-8169-7644; SPIN-код: 6298-6146, AuthorID: 546333; kolomiytsev@vniigim.ru

Глеб Юрьевич Толкачев, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник; ORCID: 0000-0001-6983-7106; SPIN-код: 7258-6870, AuthorID: 70414; k-26@yandex.ru

About the authors

Boris I. Korzhenevskiy, CSc (Geo-Min), senior researcher; ORCID: 0000-0001-7663-9677; Scopus: 57195526993; SPIN-code: 4475-8455, AuthorID: 350982; 542609@list.ru

Nikolay V. Kolomiytsev, CSc (Geo-Min), head of the department; ORCID: 0000-0001-8169-7644; SPIN-code: 6298-6146, AuthorID: 546333; kolomiytsev@vniigim.ru

Gleb Yu. Tolkachev, CSc (Geogr), senior researcher; ORCID: 0000-0001-6983-7106; SPIN-code: 7258-6870, AuthorID: 70414; k-26@yandex.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Корженевский Б.И., Коломийцев Н.В., Толкачев Г.Ю. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Корженевский Б.И., Коломийцев Н.В., Толкачев Г.Ю. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interests

Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 13.12.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 03.02.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 03.02.2025

Korzhenevskiy B.I., Kolomiytsev N.V., Tolkachev G.Yu. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote a manuscript. Korzhenevskiy B.I., Kolomiytsev N.V., Tolkachev G.Yu. have a copyright to the article and are responsible for plagiarism.