

Российская академия наук
Институт географии
Лаборатория геоморфологии, Геоморфологическая комиссия РАН

АНТРОПОГЕННЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ И ГИПЕРГЕНЕЗ

(«Ложка дегтя в бочке меда»)

Ответственный редактор Э.А. Лихачёва
Редакторы С.А. Буланов, С.В. Шварев

Москва
Медиа-ПРЕСС
2022

УДК 551.4
А 72

Монография рекомендована к печати ученым советом Института географии РАН

Работа подготовлена по темам госзаданий Института географии
РАН 0148-2019-0005/AAAA-A19-1190211990091-4
и Института водных проблем РАН FMWZ-2022-0001

Рецензенты:

чл.-корр. РАН Тишков А.А., д.г.н. Большов С.И., д.г.н. Бармин А.Н.

Редакционный совет:

д.г.н. Лихачёва Э.А., д.г.н. Буланов С.А., д.г.н. Жиндарев Л.А., д.г.н. Чичагов В.П.,
д.г.н. Широкова В.А., к.т.н. Шварев С.В., Горецкий К.В., Карасева Е.А.

Авторы:

Аникина Н.В., Афанасьев В.В., Буланов С.А., Богданов Н.А., Виноградова О.Л.,
Маккавеев А.Н., Некрасова Л.А., Прядилина А.В., Романова Е.А., Чеснокова И.В.,
Шварев С.В., Широкова В.А.

А 72 Антропогенный морфолитогенез и гипергенез («Ложка дегтя в бочке меда») / Отв. ред. Э.А. Лихачёва. Ред. С.А. Буланов, С.В. Шварев. — М.: Медиа-ПРЕСС, 2022. 224 с.: 11 табл., 53 рис., 32 цв. вкл.

Целью данной работы является развитие концептуальных представлений геоморфологии. И, прежде всего, представлений об антропогенно-геоморфологической системе, как о естественно-историческом образовании, возникшем в результате взаимодействия общества и природы в конкретных географических условиях и которую можно рассматривать как новое ландшафтно-геоморфологическое образование на нашей планете. Главная задача научной монографии — поиск ответа на вопросы: что же происходит в географической среде при формировании и функционировании антропосферы; как взаимодействует саморазвивающаяся геосистема и управляемая, контролируемая и регулируемая антропогенно-геоморфологическая система. Рассматриваются вопросы агроморфолитогенеза, гидрогенного, урбогенного и техногенного морфолитогенеза в различных природных условиях регионов России. Но, прежде всего, в наиболее освоенных на Европейской территории — бассейне Волги, Московской области. Кроме того, рассмотрены процессы антропогенного морфолитогенеза в Калининградской области, в горных районах Кавказа, в Арктической зоне, на морском побережье Дальнего Востока.

The aim of the work is to evolve the conceptual views of current geomorphology. First of all, the development of ideas about anthropogenic-geomorphological system as a natural-historical formation that arose as a result of the interaction of society and nature in specific geographical conditions, which can be considered as a new landscape-geomorphological formation on our planet. The main task of the scientific monograph is to find the answer to the questions: what happens in the geographical environment during the formation and functioning of the anthroposphere; how a self-developing geosystem interacts with a controlled, controlled and regulated anthropogenic-geomorphological system. The issues of agrarian, urban, hydrogenic, technogenic and other types of morpholithogenesis in various natural conditions of the regions of Russia are considered. First of all, the Volga River basin and the Moscow Region are considered — the most developed territories of the European part of Russia. In addition, the anthropogenic processes of morpholithogenesis in the Kaliningrad region, in the mountainous regions of the Caucasus, in the Arctic zone, on the Far Eastern coast are considered.

ISBN 978-5-901003-67-1

© Коллектив авторов, 2022

© Институт географии РАН, 2022

© Оформление ООО «Медиа-ПРЕСС», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие (С.А. Буланов, Э.А. Лихачёва, С.В. Шварев)	4
Глава 1. Антропогенный морфолитогенез: цели и задачи (Э.А. Лихачёва)	7
Глава 2. «Отрадное исключение». Антропогенный морфолитогенез на европейской территории России (Э.А. Лихачёва, Л.А. Некрасова, С.В. Шварев, И.В. Чеснокова)	14
Глава 3. «Все связано со всем». Геохимические особенности антропогенного морфолитогенеза (Н.А. Богданов, Э.А. Лихачёва)	26
Глава 4. Урбогенный морфолитогенез на территории Москвы и Новой Москвы (Н.В. Аникина, Э.А. Лихачёва, А.Н. Маккавеев, С.В. Шварев)	35
Глава 5. Морфолитогенез на берегах искусственных водоемов (на примере водохранилищ Волжского каскада) (С.А. Буланов)	62
Глава 6. Исторические преобразования речной сети (В.А. Широкова, Л.А. Некрасова)	77
Глава 7. Антропогенный морфолитогенез на территории Калининградской области (О.Л. Виноградова, Е.А. Романова)	86
Глава 8. Морфолитогенез на морском побережье (В.В. Афанасьев)	101
Глава 9. Антропогенные трансформации морфолитосистемы в горных условиях (С.В. Шварев)	116
Глава 10. Тепловое поле — неотъемлемое свойство антропогенного морфолитогенеза (А.В. Прядилина, И.В. Чеснокова)	134
Глава 11. Антропогенный криолитоморфогенез (Л.А. Некрасова)	144
Глава 12. Техногенный морфолитогенез — история и перспективы исследований (С.В. Шварев)	168
Заключение. «Ложка дегтя» — что такое антропогенный морфолитогенез? (Э.А. Лихачёва, С.А. Буланов, С.В. Шварев)	192
Список литературы	197
Сведения об авторах	223

ПРЕДИСЛОВИЕ

«Успешным изучение географической оболочки может быть лишь при детальном познании влияния человеческого общества на природу» (Григорьев, 1966). Этот тезис академика А.А. Григорьева является основополагающим для ряда географических исследований, в том числе геоэкологии и антропогенной геоморфологии, которая определилась как научное направление в 80-х годах XX в. *«Раздел общей геоморфологии, изучающей созданные и переделанные человеком формы рельефа и роль антропогенного фактора в формировании природных и природно-техногенных форм рельефа»* (Тимофеев и др., 1977). Антропогенная геоморфология рассматривает человека и его технические достижения как один из ведущих факторов морфогенеза, но ее не менее интересует, как антропогенное переустройство геоморфологической среды сказывается на жизни человека (Лихачёва, Тимофеев, 2004).

Появление термина «морфолитогенез» связано с тем очевидным фактом, что любое изменение рельефа так или иначе сопровождается изменением неких параметров слагающего его вещества: объема горной породы, ее минерального состава, структуры геологических тел — по одиночке либо в совокупности этих воздействий. Это зафиксировано в определении Ю.Г. Симонова (1966), который трактовал морфолитогенез следующим образом: «сопряженное развитие рельефа и субстрата (рыхлых отложений)». Можно добавить, что не только рыхлыми отложениями, так как имеется множество примеров трансформации именно твердого, консолидированного вещества земной коры, причем не только в результате денудации, но и в процессе накопления его, например, при вулканических извержениях. Это распространяется и на морфолитогенез, связанный с деятельностью человека.

Термин «антропогенный морфолитогенез» имеет смысл рассматривать, по крайней мере, в двух аспектах. Первый предполагает целенаправленное создание форм рельефа самим человеком или подручными средствами. Эта проблема подробно рассмотрена Л.Л. Розановым (2019), однако до сих пор не получила однозначного решения.

Действительно, здания внешне имеют те же характеристики и выполняют те же некоторые функции, что свойственны положительным формам рельефа. Чтобы разграничить эти понятия, нами был предложен следующий принцип: к рельефу относить только те неровности, которые слагаются горными породами (Буланов, 1977). Все, что ими не является, исключается. Но если мы переводим некую массу искусственного по своему происхождению вещества в состав земной коры (при формировании так называемого культурного слоя), то с этого момента вправе причислять соответствующую, слагаемую этой массой форму к рельефу.

Несколько особняком в этом плане стоят некоторые насыпные формы, типа отвалов или терриконов. Их создание — вынужденная мера, и никакой функциональной нагрузки они не несут. Однако они слагаются перемещенными горными породами, и потому процесс их формирования подпадает под определение «антропогенный морфолитогенез».

Другой аспект касается не прямого, а косвенного влияния человека на рельефообразование. В настоящее время в сферу его деятельности попала практически вся географическая оболочка планеты, и говорить о каком-либо совершенно неизменном ее компоненте даже на ограниченном пространстве уже невозможно. То же относится и к морфолитогенезу — к потокам минерального вещества и взаимосвязанными с ними изменениями рельефа, которые, на наш взгляд, было бы более уместно называть «антропогенно обусловленными». Антропогенное влияние на природный морфолитогенез Ю.Г. Симонов (2008) определил следующим образом: «...хозяйственная деятельность человека оказывает влияние на режим природных процессов. Человек в ходе производства изымает часть вещества и энергии из естественного кругооборота и возвращает их в ином количестве и с иными свойствами...». Главные вопросы, на которые при этом приходится отвечать, — это качественные и количественные показатели воздействия человека на геоморфологические процессы, а также особенности формирующегося при этом рельефа. По этому поводу проведены многочисленные исследования и опубликована обширная научная литература, этому же посвящена и настоящая монография.

В данной работе сосредоточено внимание на некоторых процессах антропогенного морфолитогенеза и гипергенеза, в частности, на тех, которые происходят под воздействием сельскохозяйственной деятельности, строительства каналов, водохранилищ, городов и

дорожно-транспортной инфраструктуры, добычи полезных ископаемых и их обработки, захоронении отходов.

На основе обзора литературы и результатов собственных оригинальных исследований покажем сложность и неоднозначность взаимодействия природных и антропогенных процессов морфолитогенеза. Основное внимание уделено решению проблем, связанных с оценкой и прогнозом развития и устойчивости антропогенно-геоморфологических систем.

В работе приняли участие ученые из различных научных организаций, прежде всего Института географии РАН, а также Института водных проблем РАН, Института морской геологии и геофизики ДВО РАН, Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН.

Коллектив авторов благодарен Ученому совету Института географии и уважаемым рецензентам чл.-корр. РАН А.А. Тишкову (ИГ РАН), д.г.н. С.И. Большову (Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова) и д.г.н. А.Н. Бармину (Астраханский госуниверситет) за поддержку нашего проекта, сотрудникам дружественного нам издательства Медиа-ПРЕСС за внимательное отношение, а также особая благодарность А.В. Морозову за финансовую помощь в издании монографии.

Глава 1.

АНТРОПОГЕННЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ: ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

«Нам недостает теоретического осмысления закономерностей взаимодействия природы и общества, оценки негативных и позитивных результатов, прогноза изменений природно-антропогенных геосистем, основ рационального управления ими».

В.М. Котляков (2001)

Характерные условия (в том числе геолого-географические и геоморфологические) возникновения на какой-либо территории активной хозяйственной деятельности мы в свое время определили следующими ключевыми словами: *безопасность, доступность, здоровье, ресурсы, привлекательность* (Город–экосистема, 1997). Однако использование территории приводит к изменению совокупности элементов природной геосистемы: пространственного соотношения, распространения экодинамических процессов и соответственно характеристик энергии рельефа. В литогенной основе ландшафта происходят изменения состава и структуры грунтов, теплового и кислотно-щелочного режима, гидрологических и гидрохимических условий. Возникает комплекс «незапрограммированных» процессов. Глубина проникновения антропогенного воздействия достигает сотен метров. И оно затрагивает не только современный, но и погребенный рельеф, который далеко не всегда остается «безучастным» к происходящим изменениям литосферного пространства.

Целью данной работы является развитие концептуальных представлений геоморфологии. И прежде всего об антропогенно-геоморфологической системе как о естественно-историческом образовании, возникшем в результате взаимодействия общества и природы в конкретных географических условиях. А также как о компоненте материально-энергетической структуры планеты (ее биосферы и социосферы), основной движущей силой которой является антропогенный морфолитогенез.

Антропогенно-геоморфологическая система, как и каждая геоморфологическая система, обладает рядом морфологических и мор-

фодинамических свойств. При этом можно ее рассматривать как **новое ландшафтно-геоморфологическое явление** на нашей планете.

Всякое воздействие на рельеф, литологическое строение или растительный покров, обводненность территории, т.е. на компоненты, определяющие морфодинамику геоморфологической системы, влечет за собой изменения разного рода функциональных, динамических, а также геохимических, геофизических, биологических, гидродинамических связей, обеспечивающих обмен вещества в ландшафте. Эти изменения — совокупность реакций системы — направлены на поддержание ее функциональной устойчивости в новых условиях и определяются адаптационными свойствами геосистемы.

Можно выделить несколько типов антропогенного морфолитогенеза: антропогенный, гидрогенный, урбогенный, техногенный (техногенез), — которые характеризуются не только целенаправленностью антропогенной деятельности, но и интенсивностью преобразований рельефа и литогенной основы (рис. 1.1).

Задавшись целью исследовать антропогенный морфолитогенез, мы должны изучить совокупность процессов, происходящих в природной среде под воздействием и при участии хозяйственной (инженерной) деятельности людей, управляющих (регламентирующих, регулирующих) этими процессами: *морфогенез* — преобразование (трансформации) естественного рельефа, в том числе и гидросети; *литогенез* — преобразование естественных грунтов, активизация процессов аккумуляции, создания искусственных (техногенных, культурных) грунтовых толщ — «новых» объектов гипергенеза; *техногенез* — создание техногенного (инженерного, конструктивного, архитектурного) рельефа и сети гидротехнической структуры водных систем.

«...Отдавая должное физической стороне того сложного комплекса и вместе с тем целостного процесса, который развивается на каждой данной территории... география не может и не должна игнорировать химическую сторону указанного процесса...» — писал А.А. Григорьев еще в 1936 г. в статье «О химической географии». Физическая география должна обратиться в географию физико-химическую, когда исследуется и химическая сторона изучаемого процесса, например рельефообразования, так как формирование антропосферы началось с воздействия человека на химические (биохимические) характеристики географической среды (Григорьев, 1966).

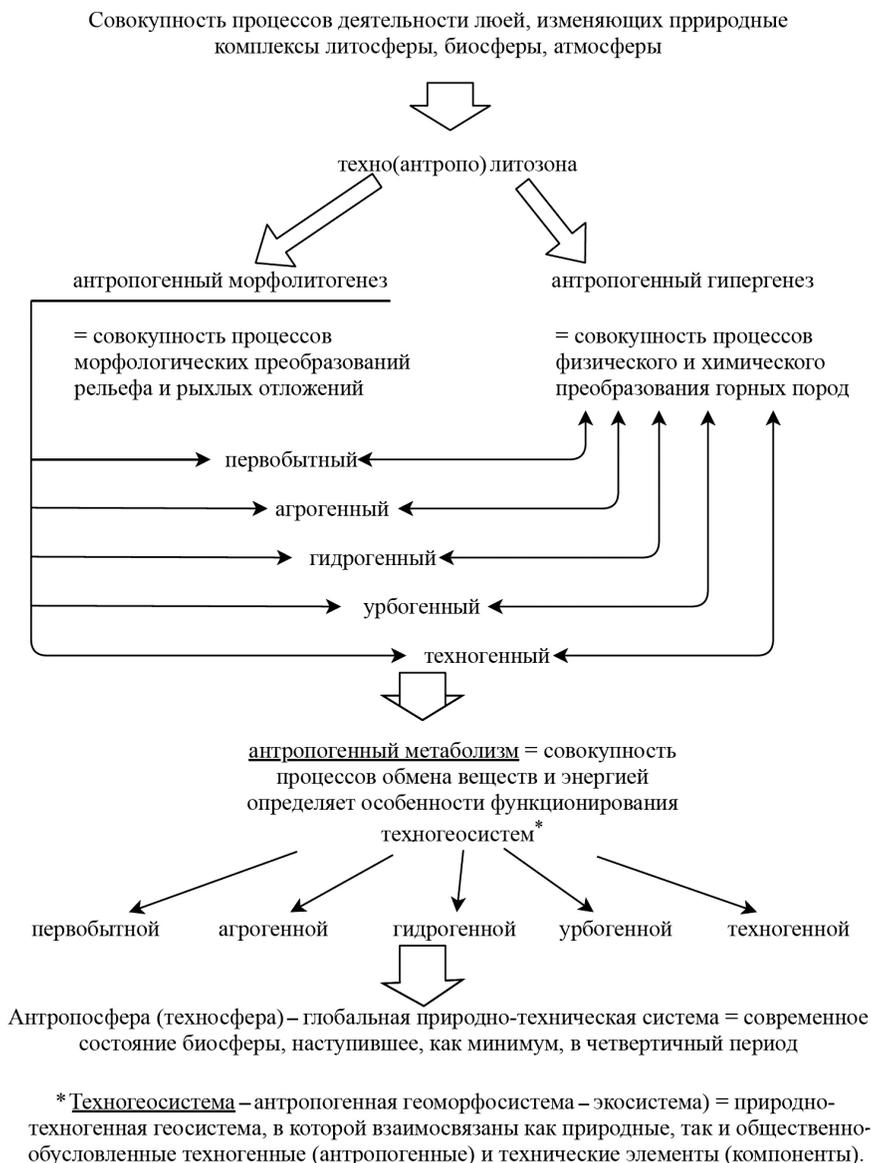


Рис. 1.1. Принципиальная схема антропогенного морфолитогенеза, трансформации природного комплекса и формирования антропосферы

Антропогенные преобразования рельефа обычно слабо связываются исследователями с геохимическими аспектами его формирования, хотя и В. Пенк, и В.А. Обручев, и Л.С. Берг, и И.П. Герасимов отмечали важность химического выветривания в рельефообразовании.

Говоря о нарушениях естественной динамической «организованности» системы «тектоническое движение — современная почва — процессы денудации и аккумуляции», И.П. Герасимов (1976) подчеркивал роль усиления разрушительной формы «антропогенной» или «ускоренной» эрозии; спровоцированность человеком оползней, обвалов, просадок и других геоморфологически опасных явлений. Несомненно, одна из ведущих причин их развития — геохимические процессы в морфолитосистеме — химические преобразования, в которых принимают участие и органические, и органоминеральные соединения. Изменения рельефа и литогенной основы, механические изменения направленности потоков вещества смещают и направленность химических преобразований. Антропогенный компонент оказывает влияние на кислотно-щелочной и температурный режим, и на водообмен. Следовательно, и на географические свойства (тепловые, электрические, вибрационные, сейсмические). Поэтому важным аспектом геоморфологических исследований должны стать геохимические и геофизические свойства рельефа, которые определяются как особенностями процессов гипергенеза и обмена вещества и энергии (метаболизм), так и особенностями функционирования, т.е. способностью в процессе развития сохранять устойчивость при данном типе воздействия и, что особенно важно, выполнять возложенные на данный тип техногеосистемы социальные, технические, экологические функции. В частности, рассматривая равнинные территории европейской России, предполагаются генетические и физико-химические связи рельефа и четвертичных отложений. Связи определяют и гидрогеологические условия и в целом условия выветривания (гипергенеза), т.е. влияют на обмен веществ (метаболизм) и особенности функционирования техногеосистемы. Исследования структуры литогенной подсистемы, выявление в истории ее формирования периодов (этапов) развития процессов размыва и аккумуляции — «геоморфологической стратиграфии» (по Ю.А. Мещерякову) — позволяют установить и генетические связи (в том числе унаследованность) и вычислить вероятность развития геоморфологической системы под воздействием и при участии

антропогенного фактора. Эти рассуждения касаются в первую очередь наличия в толще палеодолин, так как именно они определяют гидрогеологические условия (связи) в системе. И устойчивое функционирование антропогенно-геоморфологической системы (Тимофеев, 2011).

Изложенные соображения не противоречат теоретическим представлениям геоморфологии и, в частности, В. Дэвиса: «Каждая форма рельефа проходит через относительно систематическую серию изменений от ее юности... до ее старости... Это неизмеримое время (было названо) географическим циклом». Позднее этот цикл стал называться геоморфологическим циклом (Дэвис, 1962).

Таким образом, логика исследования заключается в следующем. Антропогенный фактор — существенный природный (синтетический биофизикохимический) компонент, «участник» морфолитогенеза, изменяющий (корректирующий) историко-генетическую направленность развития рельефа и природных условий в целом, что позволяет определить время его взаимодействия с другими агентами рельефообразования как антропогенно-геоморфологический цикл. Основными свойствами этого цикла является осознанная, целенаправленная, избирательная деятельность людей, которая происходит на фоне и одновременно с развитием природного комплекса. Изменения морфологии, динамики, свойств, структуры, устойчивости рельефа во времени и пространстве под воздействием совокупности экзогенных процессов — это естественное развитие (собственно морфолитогенез). А при участии антропогенного фактора — *антропогенный морфолитогенез*. Возникает вопрос: правомочно ли говорить об «антропогенном развитии»? Или все-таки лучше о развитии антропогенно-геоморфологической системы?

Система во время своего существования тоже проходит определенные стадии: возникновение, формирования, зрелости, отмирания (разрушения), перерождения. Синхронно? Асинхронно? С развитием природного комплекса происходит переход количества в качество и обратно (Философский..., 1981). На любой стадии естественного развития рельефа какое-либо целенаправленное антропогенное участие может привести к разным результатам. Не исключено и настолько активное (сильное, действенное) участие, что может ускорить перерождение данного типа рельефа в другой — более устойчивый или менее устойчивый. Все зависит от хозяйственных нужд (целей), для которых проводится «приспособление» (трансформация) данного

типа рельефа. В этом суть целенаправленных действий (мероприятий) или *управления*.

Когда созданная (антропогенная) система перестает выполнять свои функции, то в ней ослабевают и истощаются инженерные связи (которые обеспечивались управлением). Система переходит в разряд «отслуживших человеку» систем. Но сохраняется, как правило, в виде «артефакта» в природной среде, с которой остаются связи с водным потоком (гидросвязи), и обмена веществ. Далее этот конгломерат развивается по природному пути.

В ранее опубликованных трудах (Город—экосистема, 1997; Лихачёва, Тимофеев, 2000; Рельеф..., 2002; Антропогенная..., 2013; Геоморфология городских..., 2017) мы показали, какие геоморфологические условия человечество избирает для разного рода деятельности и как эти условия преобразуются в процессе освоения и эксплуатации территории. Эти исследования опирались на формулу «от геосистемы к экосистеме» (от природы без человека к природе с человеком).

Было показано, что антропосфера = социосфера является результатом сотворчества природы и человека. Удачным или нет — это другой вопрос. Так, по мнению В.Б. Сочавы (2005), антропогенный рельеф, как правило, не является продуктом сотворчества, он — «результат конфликта между человеком и природой». Но ведь конфликт тоже некоторым образом «сотворчество». Пусть и несогласованное! В любом случае происходит переход природной формы ландшафта, рельефа, литогенной основы в антропогенную или природно-антропогенную. Биосферы — в антропосферу или социосферу.

В настоящее время в естествознании все чаще употребляется термин «трансформация» при характеристике изменений в природе, ландшафте, происходящих и произошедших при активном участии людей и с применением технических средств. Однако это определение весьма расплывчато. Что это? Преобразования? Или превращения? Вероятно, эти понятия трудно разделить, так как сталкиваемся с несовершенством терминологического аппарата. И, в частности, с понятием «развитие». А этого не хотелось бы делать.

Развитие, основное понятие при рассмотрении любых аспектов естествознания. Это — закономерные изменения, происходящие во времени и пространстве от одного состояния к другому, от простого к сложному, от случайного к необходимому. При этом происходит переход количества в качество и обратно. Трансформацию (и преобразования, и превращения) будем рассматривать как результаты

антропогенных изменений природного комплекса: антропогенного, гидрогенного, урбогенного и техногенного морфолитогенеза. Эти изменения НЕ являются эволюционными и происходят НЕ в результате естественного развития рельефа и геоморфологических условий планеты, а под воздействием и при участии человечества, его разумной и неразумной деятельности — согласованной или конфликтной, на территориях, наиболее отвечающих требованиям к среде обитания и соответственно наиболее населенных. Поэтому главной задачей нашего труда является поиск ответа на вопросы: *Что же происходит в географической среде при формировании и функционировании антропосферы? Как взаимодействуют природная саморазвивающаяся геосистема и управляемая, контролируемая и регулируемая антропогенно-геоморфологическая система?* В чем суть трансформации рельефа? Как антропогенный морфолитогенез влияет на эволюционное развитие геоморфологической среды в различных природно-климатических условиях и при изменении климата? И наконец, чем грозят «незапланированные» процессы среде жизни человека?

Глава 2. «ОТРАДНОЕ ИСКЛЮЧЕНИЕ». АНТРОПОГЕННЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

«Все исторические цивилизации по крайней мере на материках Старого Света сосредоточены исключительно в умеренном поясе... Нередко упадок цивилизий совпадает по времени с геологическими или климатическими изменениями среды».

Лев Мечников (1889)

«Отрадное исключение», по мнению Л.Н. Гумилева, — территории, отвечающие представлениям этноса о месте для жизни (Гумилев, 1990). На поверхности земли люди для своего местообитания выбирают наиболее подходящие участки, соответствующие их социальным и экономическим требованиям. Эти участки обладают комплексом географических и геологических свойств: морфологических, морфодинамических, морфоструктурных, геофизических, геохимических и, конечно, гидрологических и климатических. Одним словом — *отрадное исключение* (Город–экосистема, 1997).

Наиболее благоприятным для возникновения поселений (городищ) на Русской равнине является флювиальный рельеф, где в различные периоды освоения располагалось от 76 до 55% укрепленных поселений. Относительно часто встречаются городища, расположенные на моренных слабо- и среднерасчлененных пологоволнистых холмистых равнинах (до 13% в XI–XIII вв.), моренных эрозионных возвышенных равнинах (максимальная доля 13% приходится на эпоху позднего Средневековья); на моренных сильнорасчлененных холмистых равнинах (15% в период позднего Средневековья) и на моренных эрозионных пологоувалистых равнинах (около 8% в VII в.) (Лихачёва, Евина, Жидков, 2005).

Подавляющее большинство городищ расположено в районах с глубиной расчленения 30–50 м/км² и плотностью расчленения 1,2–1,4 км/км² с проявлениями эрозионных процессов средней интенсивности. Однако для строительства укрепленных центров городов (детинцев, кремлей) выбирались преимущественно ровные поверхности, места с практически полным отсутствием опасных процессов. Наибольшую опасность представляли наводнения и оползневые процессы (Очерки..., 2009).

Процессы урбанизации и некоторые катастрофические явления приурочены к одним и тем же местам на земной поверхности, выделяемые как зоны морфоструктурных узлов. При этом морфоструктурная неустойчивость этих территорий определяет их геофизические, гидрологические и геоморфологические свойства, наиболее привлекательные для формирования среды жизни людей. Следовательно, и для городского строительства (Рельеф среды..., 2002).

С позиции теории В. Дэвиса рельеф Русской равнины можно определить следующим образом: это некое гармоничное сочетание сравнительно молодого развивающегося эрозионно-долинного рельефа и относительно зрелого аккумулятивного ледникового. Можно, образно говоря, сказать, что этот рельеф в «цветущем возрасте». Основные черты геоморфологического облика Русской равнины начали формироваться в ледниковый период. А современный вид рельеф равнины приобретает в послеледниковый период, а точнее, в последние 10–15 тыс. лет. В это время формируется и этнос. Человек рос и развивался одновременно с рельефом. Вероятно, участие людей в этом процессе было естественным, так как места, которые люди выбирали для своего постоянного или временного поселения, отвечали главным, но *не всем* требованиям. Приспособление геоморфологических условий к своим нуждам и потребностям стало *руководящей идеей*. Собственно, так и формировалось представление о «цветущем крае» («Вот именно такой барашек мне и нужен», — сказал Маленький Принц, глядя на рисунок, где барашка как такового не было. Был ящик, где якобы он находился...).

В данной монографии мы рассматриваем «геоморфологические» последствия деятельности людей на территории Русской равнины, которую люди избрали как наиболее благоприятную для своего существования. Что же конкретно произошло? Как изменились условия жизни в результате многовековой преобразовательной деятельности людей (или «антропогенного ландшафтообразования», по Л.Н. Гумилеву)? Эту деятельность мы определили как *антропогенный морфолитогенез* (Антропогенная геоморфология, 2013).

С определенной долей условности можно выделить следующие типы антропогенного морфолитогенеза:

Первобытный (первичный) — наиболее древнее точечное использование геоморфологических и ландшафтно-геохимических особенностей местности: локальная оптимизация ландшафта, обводнение или опустынивание, изменение микрорельефа, активизация поверх-

ностного стока и эрозии, деградация почв. Практически естественное развитие морфолитогенеза. Встречается повсеместно на суше и в прибрежных районах морей. По существу, является основой для дальнейшего антропогенного преобразования геоморфологических условий. На территории Русской равнины сохранились антропогенные формы рельефа, которым более 1000 лет. Это городища, валы, оборонительные рвы, засечные полосы, тракты, курганы и другие захоронения.

Агрогенный морфолитогенез — один из древнейших видов преобразований природных геоморфологических условий. Присутствует во всех регионах Центральной России и развивается на территориях, пригодных для ведения сельскохозяйственных работ и соответственно с благоприятными для этой деятельности почвенно-геоморфологическими условиями. В результате возникают пахотные земли, пастбища и сенокосы, помещения для скота, навозохранилища, силосные ямы, села, деревни и хутора, приусадебные территории, парники, парки сельхозтехники. К этому типу землепользования можно отнести и рекреационные земли (дачные поселки, парки, сады). Агрогенный морфолитогенез характеризуется комплексом природно-антропогенных процессов: эрозия почв; переотложение рыхлых наносов; овражно-балочная эрозия; дефляция; суффозия; оползни; заболачивание и подтопление; засоление; опустынивание; потеря плодородия и т.д. Происходят изменения органоминерального и химического состава (внесение удобрений) почв и грунтовых вод.

Агрогенный морфолитогенез тесно связан с гидрогенным морфолитогенезом, так как преобразования природных свойств геоморфологических систем приводят к изменению морфологии и морфометрии склоновых водосборов, их искусственному конструированию, изменению основных направлений поверхностного и грунтового стока, что влечет за собой территориальное перераспределение ареалов смыва и аккумуляции, влияет на доставку наносов в гидросеть, определяет территориальное распределение эродированных почв, а также на их плодородие. Резкое увеличение объема наносов, доставляемых со склонов в русла малых рек и ручьев, привело к проблеме сокращения протяженности речной сети. Детальные исследования изменений протяженности речной сети в пределах южного мегасклона Русской равнины показывают, что этапы отмирания рек в лесостепной и степной зонах соответствуют интервалам времени,

когда происходил резкий прирост площади пахотных земель и/или распашка бортов долин (Литвин, 2002).

Важно отметить, что общее понижение междуречий за период земледельческого освоения в 100–200 лет при современных темпах смыва составило в среднем для разных регионов Русской равнины примерно на 30–170 см. Современные темпы аккумуляции наносов в днищах долин верхних звеньев флювиальной сети составляют 10–45 см/год, что на 1–2 порядка превышает ежегодный слой сноса наносов со склонов междуречий. Неравномерность темпов накопления наносов в днищах долин способствует формированию вторичных врезов, а в дальнейшем их активному регрессивному продвижению по днищу (Голосов, 2006). Накопление смытого с водосбора материала в долинах рек в большинстве случаев не привело к исчезновению руслового стока в верхних звеньях флювиальной сети. Но при небольших уклонах русел и при практически полном сведении леса наблюдалось выборочное отмирание водотоков 1–3-го порядков (Вольно-Подольская возвышенность, ополя Среднерусской и Смоленско-Московской возвышенностей, север Приволжской возвышенности, возвышенные равнины Северо-Западной Европы и др.).

В результате *агрогенного морфолитогенеза* снижается экологическая устойчивость природных экосистем; нарушается естественный процесс самовосстановления почвенных ресурсов; формируется «новый тип» природно-антропогенного рельефа, как правило, с неравномерным развитием экзогенных процессов, нередко с катастрофическим эффектом (овражно-балочная эрозия, оползни, просадочные и карстовые процессы и т.д.). При этом природные свойства геоморфологических систем, механизмы их развития сохраняются: даже находясь под воздействием хозяйственной деятельности, они столь сильны, что определяют и технологии землепользования, и функционирование антропогенных сельскохозяйственных геосистем, — их также можно назвать антропогенными биогенно-эрозионными (эрозионно-биогенными) геоморфологическими системами, аграрным типом культурных ландшафтов или *антропогенно-аграрно-эрозионными геоморфологическими системами* (Антропогенная геоморфология, 2013).

Гидрогенный морфолитогенез теснейшим образом связан с формированием среды жизни человека. Это оросительные и осушительные (дренажные) каналы и системы, подпоры рек и ручьев плотинами,

создание прудов, каналов, прудов-отстойников, гидротехнических сооружений — гидроэлектростанций и водохранилищ, что привело, в частности, к изменению структуры речной сети и расчлененности рельефа как в водосборах малых рек, так и крупных (бассейн Волги). Создание системы водохранилищ одновременно с началом распашки способствовало снижению объемов склоновых наносов, поступающих в русла рек. Большое количество прудов, сооруженных в суходольной сети одновременно с освоением земель, сдерживает заиливание малых рек и низменных равнин юга Русской равнины (Кубанская низменность, Низкое Заволжье).

К гидрогенным формам антропогенного рельефа следует отнести и некоторые древние оборонительные сооружения — рвы, наполненные водой.

На современном этапе развития цивилизации все шире вода включается в технические и природно-технические циклы. Сформировались техногенные воды (неизвестны природные аналоги). Возникают и сложные изменения во всем механизме связей в биосфере. Общее загрязнение и ухудшение качества воды существенно изменяет процессы почвообразования. В случае сильного переувлажнения и засоления почв происходящие изменения приобретают необратимый характер (Оценка влияния..., 2005). Воздействие оказывается на рельеф, верхний слой литосферы, на гидросферу (гидрогеологическое и гидрохимическое), изменяющие поверхностный и подземный сток, условия выветривания (гипергенез), структуру гидрогенных отложений (седиментогенез).

На *орошаемых землях* в результате сооружения оросительных систем создается определенная категория антропогенного рельефа, выраженная спланированными участками, а также каналами, дамбами, насыпями и т.д. Последние оказывают наибольшее влияние на развитие нежелательных геоморфологических процессов, которые создают постирригационный рельеф. Постирригационный рельеф возникает в результате рельефообразующих процессов, развивающихся после ввода оросительных систем в эксплуатацию. Морфология и особенности распространения этого рельефа зависят как от физико-географических и геологических условий, так и от способов орошения (Молодкин, Иванов, 1980; Иванов, 1982).

Наиболее масштабные изменения геоморфологических условий, которые можно отнести к типу гидрогенного и техногенного морфо-

литогенеза, произошли при строительстве каналов. Это и русла рек, и мощные гидротехнические сооружения (см. главу 6).

К не менее серьезным мероприятиям можно отнести и деятельность на побережье морей: укрепление берегов от размыва, строительство набережных, волноломов, портовых сооружений, которые изменили участки береговой зоны морей (надводные и подводные).

Активная водохозяйственная деятельность обусловила изменения водного режима обширных территорий. «Гидрогенные трансформации» отмечаются и на морских побережьях, и на речных поймах, и на территориях агроландшафтов, и особенно на урбанизированных территориях. Изменения режима речного стока под влиянием гидростроительства чрезвычайно велико — наблюдается кумулятивный эффект антропогенного воздействия как в верхних бьефах гидроузлов, так и в дельтах зарегулированных рек. Так, активная водохозяйственная деятельность в бассейне Волги привела к существенной трансформации речного стока и комплекса процессов морфолитогенеза и гипергенеза: размыв грунтов, подтопление, вторичное засоление, локальное скопление воды в зоне аэрации.

Урбогенный морфолитогенез. Характеризуется комплексным воздействием и на рельеф, и на литогенную основу, и на погребенный рельеф в том числе: строительство зданий и сооружений, транспортной инфраструктуры; эксплуатация подземных водоносных горизонтов; комплексное физическое воздействие на геологическую среду (статическое, динамическое, тепловое, электрическое); комплексное химическое воздействие; создание архитектурного и техногенного рельефа и подземной инфраструктуры (метрополитен, тепловые и водные коммуникации, склады и т.п.); накопление мощного слоя техногенных (разнородных) отложений, преобразуется естественный и создается антропогенный грунт и режим водообмена; возникает новый тип связей в экогеосистеме, формируется зона урбогенного гипергенеза. Этот тип морфолитогенеза можно назвать управляемым (см. главу 4).

На интенсивно осваиваемых городских, промышленных территориях происходит не только накопление техногенных отложений, но и возникает разнообразное физическое (динамическое, тепловое, статическое) воздействие на техногенно измененный и техногенный грунт; уплотнение грунтов, изменение режима, химического состава грунтовых вод, сейсмических и тепловых свойств грунтовой

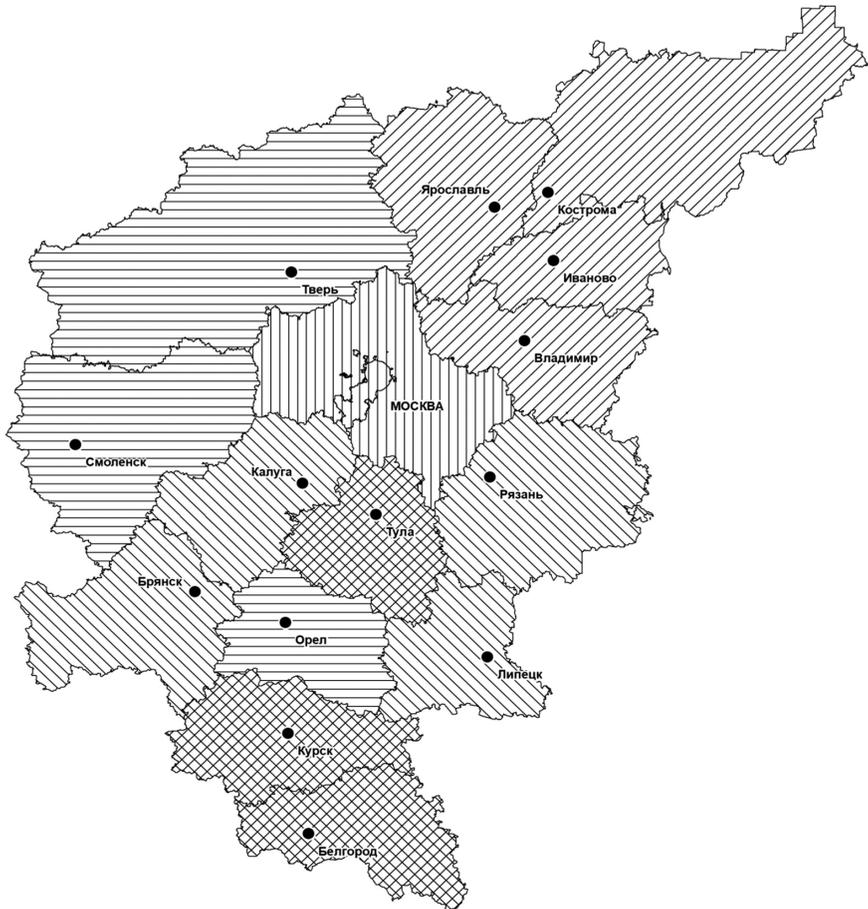
толщи в целом. Эти воздействия приводят соответственно к изменению направленности процессов выветривания за счет изменения кислотно-щелочного и теплового режимов, дополнительной активной органической составляющей. В зоне урбогенного гипергенеза активизируются те геоморфологические процессы, которые определяются состоянием литогенной основы: карст, суффозия, заболачивание. Изменение теплового режима и солевого состава грунтов определяет и развитие (особенно в зоне многолетнемерзлых пород) процессов пучения, термокарста, плывунов и т.д. (рис. 2.1, цв. вкладка).

Особо следует сказать о формировании в зоне урбогенного гипергенеза геохимических аномалий (связанных с промышленными отходами) и геопатогенных зон (связанных с захоронениями — кладбищами, и со свалками).

Техногенез — промышленная добыча полезных ископаемых (открытым и подземным способом); захоронение опасных отходов; создание индустриального и техногенного рельефа (отвалы, терриконы), в том числе гражданские и военные сооружения и полигоны; интенсивная эксплуатация поверхностных и подземных вод ⇒ перестройка структуры водообмена, безвозвратное водопотребление, осадкообразование в искусственных водоемах; формирование зоны техногенного гипергенеза (необратимые изменения), где главенствующую роль играют инженерные связи. (Вероятно, здесь можно говорить об антропогенном гипергенезе, седиментогенезе и диагенезе (см. главу 12)).

В качестве иллюстрации *трансформации рельефа на территории центра европейской части РФ* предлагаем карту-схему (рис. 2.2), составленную на основе современных данных о землепользовании (Рельеф среды..., 2002; Очерки..., 2009; Нефедова и др., 2011; Геоморфология городских территорий, 2017).

Трансформация природной среды определяется степенью освоенности и степенью экономической развития региона. И в то же время эти регионы различны и по типам загрязнения грунтов: удобрения (химические и органические) на сельскохозяйственных землях; свалки бытовых отходов повсеместны в радиусе 1–2 км от сельских поселений и малых городов и до 10 км вокруг больших городов; загрязнения тяжелыми металлами и нефтепродуктами вдоль транспортных коммуникаций; загрязнения, связанные с топливной промышленностью и вопросами отопления в системе ЖКХ. Это послед-



-  Около 50% территории подвержено процессам агрогенного морфолитогенеза. Загрязнено 15% территории (1-2 балла): Костромская, Ярославская, Ивановская, Владимирская обл.
-  Около 50% территории трансформировано и до 30% загрязнено (3 балла): Тверская, Смоленская, Орловская обл.
-  На более чем 50% площади существенные трансформации геоморфологических условий за счет агро- гидро- и урбоморфолитогенеза (4-5 баллов): Калужская, Тамбовская, Рязанская, Брянская, Липецкая обл.
-  Более 50% площади региона трансформировано процессами урбоморфолитогенеза (6 баллов): Московская обл., агломерации центров областей.
-  Более 50% площади региона трансформировано процессами техногенеза (7 баллов): Тульская, Воронежская, Курская, Белгородская обл.

Рис. 2.2. Трансформация геоморфологических условий в условных баллах

нее загрязнение на большей части сельских поселений долгое время было связано преимущественно с использованием дров и торфа, а на территории городов — с использованием угля, дававшим большое количество твердых отходов и выбросов в атмосферу. Трассы нефте- и газопроводов, пересекающие территорию, тоже время от времени способствуют загрязнению (повреждения, разрывы). В целом в Центральном федеральном округе площадь хронического загрязнения составляет 650,2 тыс. км² (или 19,3% территории). Наиболее загрязненными являются регионы с повышенной концентрацией городов и населения: Московская (включая Москву) и Тульская области. На территории России с этими областями сравнимы только Ростовская, Свердловская, Челябинская и Кемеровская области (Черногаева, Зеленов, 2009; Геоморфологические системы..., 2010; Нефедова и др., 2011). По данным ФГБУ «Тулаагрохимрадиология», площадь сельскохозяйственных угодий, загрязненных цезием-137 (свыше 1 Ки/км²), в различных районах *Тульской области* на 01.01.2021 г. составляет 366 тыс. га. В настоящее время в Тульской области имеется 307,3 тыс. га радиоактивно загрязненной пашни, на которой необходимо проводить рекультивационные мероприятия.

Острейшей проблемой в *Курской области* стала дегумификация почв, которая является следствием развития эрозионных процессов, а также результатом несоблюдения технологий возделывания сельскохозяйственных культур, разрушения структуры пахотного слоя при использовании тяжелой техники, неудовлетворительной работы по применению средств химизации, снижения в посевах доли почвоулучшающих культур. Экспериментальные данные показывают, что с гектара пашни ежегодно теряется около 400–600 кг гумуса, а на землях, подверженных интенсивному влиянию водной эрозии, убыль органического вещества возрастает до 1 т/га в год.

Высокая доля распаханых земель порождает такие экологические проблемы, как развитие эрозионных процессов, негативное изменение водного режима почв на распаханых территориях, и сопряженных ландшафтах, развитие процессов окисления, снижение содержания гумуса. На пастбищах в связи с увеличением нагрузки на оставшиеся под ними малые площади происходят уплотнение и деградация почв (Воронцова, 2012).

Актуальна проблема сохранения ценных черноземных земель. Происходит ухудшение, а в районе КМА и разрушение почвенного покрова в результате развития эрозии, нарушения технологии обра-

ботки почв, добычи полезных ископаемых. Экологические проблемы Курской области связаны с восстановлением плодородия почв и с системой подачи воды населению. Наблюдается увеличение площади кислых почв, которые занимают более половины, а в отдельных районах до 75% всей пашни.

В *Московской области* наиболее освоены под сельхозугодья черноземные почвы — до 70,7%, серые лесные почвы — до 64,3%. В пределах сельскохозяйственных территорий для агродерново-подзолистых почв характерно снижение содержания гумуса и некоторых элементов, эрозия, переувлажнение и заболачивание, переуплотнение, а также загрязнение отдельными элементами в сравнении с естественными почвами области в целом. В условиях промывного водного режима ежегодно с каждого гектара теряется около 600 кг; подвержено эрозии более 15% всех земель, в том числе пашни почти 18%. Потери гумуса на территории составляют до 11,7 т/га в год. Активно развиваются процессы ветровой эрозии почв.

Значительные площади земель подвергаются захламлению промышленными, бытовыми, сельскохозяйственными отходами, несанкционированными свалками (О состоянии окружающей среды..., 2003). Интенсивное использование земель в народном хозяйстве области приводит к развитию различных форм деградации почв: снижению их плодородия, эрозии, подтоплению, заболачиванию, дегумификации, увеличению кислотности, переуплотнению, снижению содержания подвижных форм микроэлементов и различных видов загрязнения. 80–90% почв на основной площади пашни области характеризуются низким и пониженным содержанием гумуса (менее 2–2,6%).

На территории *Тверской области* развиты заболачивание, эрозия, оползни, карст и подтопление. Неглубокое залегание грунтовых вод, застойный режим поверхностных вод способствуют заболачиванию низинных лугов. Эрозионные процессы на сельскохозяйственных угодьях ведут к потере плодородного слоя почв и к физической потере площадей продуктивных сельскохозяйственных угодий. Кроме того, земли сельхозназначения нередко становятся местом для складирования отходов.

Масштабы влияния хозяйственной деятельности человека в горнопромышленных районах *Курской магнитной аномалии* (КМА) значительно превосходят скорости развития природных рельефообразующих процессов. Основные месторождения железных руд с промышленными запасами приурочены к территориям Белгородской,

Курской, частично Орловской, Брянской и Воронежской областей, где на площади около 70 тыс. км² сосредоточены крупнейшие месторождения. Добыча идет тремя основными способами: открытым, шахтным и методом скважинной гидродобычи. С открытой добычей полезных ископаемых связаны наиболее масштабные нарушения земной поверхности. В частности, добыча железорудного сырья в Старооскольско-Губкинском районе Белгородской области привела к нарушению природных условий на площади 16 тыс. га (Петин, 2009).

Исследования, проведенные в *Рязанской области*, показали, что наиболее зримые проявления антропогенного морфолитогенеза обнаруживаются в строении и структуре долинного и особенно пойменного комплекса. Так хозяйственная деятельность привела не только к изменению морфологии естественного рельефа, но и в ряде случаев к формированию технолитоморфной толщи насыпей дорог или искусственных террас, по мощности сопоставимых с толщиной четвертичных отложений на отдельных участках окской поймы. В процессе антропогенного морфолитогенеза территории Рязанского расширения поймы реки Оки повысилась в целом на 1,6 мм, причем высота или глубина отдельных форм антропогенного рельефа достигает 15–18 м. Наибольший вклад в преобразование площади всего Рязанского расширения пойменной части долины Оки в ходе антропогенного морфолитогенеза внесло жилое и промышленное строительство. В свою очередь, закладка насыпных террас и строительных карьеров сопровождалась перемещением основного объема всех почвогрунтов, задействованных в антропогенном морфолитогенезе на исследуемой территории (Воробьев, 2018).

Разработки песка, глины, мела малыми карьерами велись и ведутся по всей территории Центральной России. И хотя они не приводят к появлению на большой площади антропогенного рельефа, тем не менее в значительной степени усиливают интенсивность экзогенных процессов. Однако строительный бум, охвативший центральные районы в 1990–2000-х гг., способствовал активизации формирования антропогенного рельефа на территории.

В недавнем прошлом велась добыча бурого угля и в Подмосковном буроугольном бассейне (юг Московской области, Калужская, Смоленская, Рязанская, Тульская области), что повлияло на состояние природной среды и в значительной степени способствовало устойчивому загрязнению территории, которое ощущается до сих

пор. Активность природно-техногенных процессов этой территории связана не только с наземными техногенными преобразованиями, но и с подземными выработками (провалы, оседания поверхности, оползни).

Формированию антропосферы на Русской равнине способствовали и климатические, и геоморфологические условия, а также структура речной сети, которые обеспечивали населению и безопасность, и торговые связи на данной территории. В соответствии с развитием общественных отношений, потребностей в ресурсах, требований к среде жизни эти условия существенно изменились, преобразовались = трансформировались.

На территории Русской равнины возник и развивается «ареал антропосферы», который отвечает требованиям людей к местообитанию: благоустройство, транспортная доступность, санитарно-гигиенические условия и медицинские услуги, рабочие места и социально-культурные услуги — или социально-экономическим требованиям.

«Ареал антропосферы» — новое биосферное образование с повышенной концентрацией населения и составом биоты, со сложной и интенсивной совокупностью антропогенных преобразований, инженерно-хозяйственных мероприятий, природных и природно-антропогенных процессов. Формируется на границе биосферы, гидросферы, литосферы и приземного слоя атмосферы.

Глава 3.
«ВСЕ СВЯЗАНО СО ВСЕМ».
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
АНТРОПОГЕННОГО МОРФОГЕНЕЗА

«Что собственно мы ожидаем от богов?... Разве не проявляют они свою силу во всем? Не заключается ли она и в недрах земли, и в природе самого человека?.. Мы знаем, как различаются между собой разного рода земли. Есть земли смертоносные... есть на земле местности нездоровые и есть здоровые; есть такие, что у людей, живущих там, вырабатывается особенно острый ум, в других местах население отличается тупоумием. Все зависит от различий в климате и неодинаковых земных испарений».

Марк Туллий Цицерон (106–43 гг. до н.э.)

Более 2 тыс. л. н. была определена всеобщая связь явлений — закономерная зависимость формирования среды жизни от комплекса свойств природы — геолого-геофизико-геохимических (Коммонер, 1974; Фролов, 1981). Освоение территорий, их благоустройство и строительство изменяют характеристики исходного состояния окружающей среды: рельефа и рыхлых отложений, поверхностных и подземных вод, комплекса экзогенных процессов и даже климатические, как уже было показано в предыдущих главах.

Ландшафт «обогащается» архитектурным рельефом, который изменяет характер перераспределения потоков тепла, влаги, воздуха, минеральных и органических веществ. Возникает и новый уровень организованности и функционирования ландшафта, которое осуществляется природно-техногенными и техногенными литопотоками. Объемы и динамические характеристики литопотоков во многом обусловлены изменчивостью технологии эксплуатации антропогенных объектов. Последствия обмена веществ (метаболизма) приводят к превращению территорий в другое геоэкологическое состояние.

Процесс формирования антропосферы характеризуется не только преобразованием рельефа, но и весьма существенным качественным и количественным изменением вещественного состава — физико-химического, химического, биологического. Происходят

изменения состояния и химизма морфолитосистемы под влиянием природной и антропогенной деятельности, и отклик на это воздействие — ответная реакция преобразованных ее свойств на здоровье населения и антропогенные объекты. Так, в химически агрессивной городской среде, часто формируемой жидкими, твердыми и газообразными отходами, активизируются карстово-суффозионные процессы и возникают геопатогенные зоны как результат изменения качества земель освоенных территорий, их экологического состояния с неблагоприятными токсикологическими и патогенными последствиями химически и биохимически измененной геологической среды.

Рельеф и свойства его литогенной основы во многом контролируют геохимические процессы (миграцию, накопление, рассеяние веществ). В основе любого процесса лежит преобразование энергии и массоперенос (в данном случае — на уровне химической формы движения материи благодаря выделению энергии химических реакций).

Наши исследования урбогенного морфолитогенеза проводились на территории Русской равнины, для которой характерны четвертичные ледниковые отложения и гумидный климат. По мнению В.В. Добровольского: «Состав четвертичных отложений в значительной мере представляет собой продукт гипергенного преобразования коренных пород» (Добровольский, 1966, с. 69). Это своего рода перетолженная и преобразованная «первичная» кора выветривания. Перераспределение химических элементов непрерывно продолжается как во время формирования четвертичных отложений (литогенез), так и в последующее время (собственно гипергенез), новообразования как результат.

Четвертичные отложения на территории европейских равнин представляет собой продукты преимущественно физического выветривания пород кристаллического фундамента. При потеплении климата в переработку этих рыхлых продуктов включаются процессы химического и биологического преобразования, что, собственно, и определяет метаболизм — обмен веществ в толще четвертичных отложений. Свидетельствами метаболизма являются новообразования, чему способствуют гидродинамические, геохимические, биохимические связи и литопотоки.

Для субаквальных условий гумидной зоны характерной формой железистых и марганцевых новообразований являются озерные

и болотные руды. Болотные руды (Мещера) столь же типичны для южной части лесной зоны, как озерные железисто-марганцевые руды для северной тайги (Карелия).

В покровных суглинках склонов и надпойменных террас Русской равнины часто обнаруживаются гидрогенные карбонатные новообразования (напоминающие таковые в аридной зоне), связанные с жесткими грунтовыми водами — так называемый «известковый туф» голоценового и современного возраста. Процесс выщелачивания карбонатов из морены протекает одновременно с процессами размывания морены и суффозионными процессами. На территории распространения покровных суглинков можно выделить как площади выщелачивания, так и площади обогащения карбонатом кальция. В целом в гумидных условиях процессы гипергенеза протекают весьма активно (Добровольский, 1966).

Таковы фоновые, довольно благоприятные для жизни людей геохимические условия. Однако и в этих «фоновых условиях» существуют геохимические аномалии. Так, эколого-геохимические исследования в Московской области выявили обширные аномальные поля с ураганным содержанием молибдена в долине Малой Истры и в междуречье рек Москвы и Рузы с аномальным содержанием талия (Пронин, 1994).

Антропогенное воздействие на исследуемой территории разнообразно, неоднородно и растянуто во времени, а миграция и аккумуляция веществ в различных геоморфологических условиях сложны и во многом зависят от микроклиматических, ландшафтных и историко-географических особенностей территории (Кошкарев и др., 2013; Лихачёва и др., 2013).

Сложность выявления антропогенного влияния на состояние и состав четвертичных отложений заключается прежде всего в сходстве процессов физического и химического преобразования по «природной схеме» и по «антропогенной».

Геохимические трансформации свойств морфолитосистемы в процессе урбанизации достаточно условно можно представить в виде трех групп процессов: 1) изменения исходного качества; 2) появление новых свойств; 3) формирование геохимических барьеров нового типа. Для каждой группы антропогенного преобразования грунтов присущи свои определенные особенности развития денудационно-аккумулятивных процессов и гигиенической опасности морфолитосистемы (Богданов и др., 1994; Касимов, Воробьев, 2002;

Касимов, Герасимова, 2002; Герасимова и др., 2003; Богданов, 2005; Зверева, 2007; Никифорова, Кошелева, 2009, 2011; Груздев, 2010; Никифорова и др., 2010; Касимов и др., 2011).

1. Изменение исходных, фоновых (в том числе природных) свойств благодаря смещению вектора развития процессов в сторону преобладания техногенно обусловленных явлений, химических веществ, их изотопов и форм нахождения элементов:

– кислотно-щелочной баланс (рН-реакция среды) — в кислотных условиях разрушаются цементирующие связи между минеральными частицами отложений, растворяются карбонатные породы, развиваются карст, суффозия, обвалы, сели, оползни; в щелочных грунтах депонируются тяжелые металлы, придающие морфолитосистеме токсичные, гигиенически опасные свойства;

– хемогенное морфообразование — корки до 0,5 м и натёки в заброшенных горных выработках, где из насыщенных растворов кристаллизуются > 30 техногенных новообразований — минералов: глоккерит, познякий, ксенасит и т.п. Этот процесс наблюдается и в подземных водонесущих коммуникациях;

– замедление денудации при определенных концентрациях в грунте битуминозных веществ благодаря увеличению связности частиц, интенсификации роста растений и увеличению густоты проективного покрытия;

– ухудшение гигиенического состояния рыхлых отложений, снижающее уровень санитарно-эпидемиологического благополучия населения — увеличение доли опасных для здоровья живых организмов и миграционно подвижных форм химических веществ: металлоорганических соединений, низкотемпературных токсичных термоморф Hg, разновидностей полициклических ароматических углеводов (ПАУ), изотопов макро- и микроэлементов и др.

С 1976 г. осуществляется мониторинг экологического состояния городских почв Москвы (Кошкарев и др., 2013, с. 65–69). Установлено, что все почвы города загрязнены, а около 30% почв опасно и чрезвычайно опасно загрязнены комплексом химических элементов. Наиболее загрязненные территории — это промзоны. Спектр элементов загрязнения на различных участках со временем существенно не изменяется, что объясняется как особенностями природных процессов (кислый тип водной миграции, промывной режим), так и инженерно-техническими и санитарно-гигиеническими мероприятиями.

2. Появление новых свойств — новообразований и химических веществ, не характерных прежде и гигиенически опасных для морфолитосистемы данной территории:

– трансформации рельефа и почвообразовательных процессов. Возникновение новых почвенных слоев в результате деградации и аккумуляции грунтов, искусственного перераспределения грунтовых масс; появление новых типов почв («техноземы», «урбаноземы», «урбик»)-прослой в грунте и т.д.) на интенсивно осваиваемых территориях — свидетельствуют о переходе биосферы в антропосферу. Соответственно возникли и новые источники органических соединений, большая часть которых связана с селитебными (урбанизированными, сельскими и промышленными) территориями;

– новые реперы темпов осадконакопления: прослой радиоактивных элементов, датируемые по времени событий — ядерных взрывов или аварий на АЭС; трассеры потоков наносов и индикаторы динамически застойных зон: очаги накопления загрязняющих веществ в донных наносах поверхностных водных объектов, где повышенные темпы седиментации, угрожают здоровью экосистем и санитарно-эпидемиологическому благополучию населения;

– новые трассеры энергомассопереноса — наиболее распространенный в урбосфере ПАУ-канцероген бенз(а)пирен (БП). По существу, он включен в состав литопотоков: микрочастицы БП адсорбируются тонкодисперсными наносами и взвесями; накапливаются в грунте на механических, физико-химических, биохимических барьерах (седиментационных, кислородных, щелочных, сорбционных, поглощаются растениями и др.). Нахождение БП в определенных горизонтах разреза рыхлых отложений свидетельствует также и о хороших фильтрационных свойствах верхней толщи осадков (пески). Накопление сульфидов железа («ордзанд») характеризует повышенную кислотность и промывной режим грунтов. Засоление низин и аккумуляция в них определенного комплекса химических соединений указывают на характер движения склоновых масс и перераспределение веществ в системе водосборного бассейна (Богданов, 2005; Лихачёва, Палиенко, Спасская, 2013).

Исследования показали, что происходит увеличение массы химических элементов, мигрирующих в виде техногенных соединений в коллоидной и отчасти в минеральной форме. Изменяется соотношение наиболее распространенных форм нахождения химических элементов (коллоидная, сорбированная, минеральная, биогенная,

водные растворы, газовые смеси); возрастает роль металлов; резко возрастает масса химических элементов, образующих техногенные соединения, которые не имеют природных аналогов; появляются чуждые ингредиенты или ксенобиотики (несовместимые с жизнью вещества). К ним относятся гептил, диоксины, фураны, полихлорбифенилы, гексахлоран, пестициды, фунгициды, гербициды, тяжелые металлы, редкие и радиоактивные элементы и пр. Они негативно влияют на состояние среды (Касимов, Воробьев, 2002; Касимов, Герасимова, 2002).

Изменились и потоки, и интенсивность, и состав мигрирующих элементов. Миграция железа возросла в тысячи раз, а рассеянных и цветных металлов — в миллионы.

Избыточная аккумуляция, в том числе ингредиентов, несвойственных ранее для данной территории, определяется как «загрязнение». К этому процессу можно отнести многочисленные явления: скопления токсикантов и отходов как на дневной поверхности, так и в разрезе рыхлых отложений (например, тяжелых металлов Hg, Cd, Pb и As, диоксинов, пестицидов, радионуклидов, онкопатогенных водорастворимых солей, вызывающих рак пищевода, и др.).

На землях разного функционального предназначения *отмечается избыточное накопление химических веществ* в рыхлых отложениях, что провоцирует денудацию или аккумуляцию, создает бронирующий эффект защиты поверхности от деформаций. В результате скопленных разного рода отходов, создания кладбищ, могильников и других отпавлений жизнедеятельности человека формируются принципиально новые геопатогенные очаги и зоны.

Участки загрязненного грунта могут идентифицироваться и как геоморфологически проблемные зоны. Наличие таких зон в рыхлых отложениях негативно влияет на современное эколого-гигиеническое состояние окружающей среды, таит угрозу вторичного загрязнения сопредельных сред (поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха, биоты), снижения качества трофических цепей и продуктов питания, а в конечном итоге — ухудшения здоровья человека.

Появился и новый тип миграции, который геохимики назвали «социальным» (Касимов, Герасимова, 2002). Социальная миграция химических элементов в первую очередь связана с громадным перемещением продуктов сельского и промышленного производства.

Этот процесс по масштабам (объему и дальности переноса) превышает природный в миллионы и сотни миллионов раз. Дальность перемещения перевозимых веществ измеряется тысячами и десятками тысяч километров.

3. Возникновение новых или усиление роли уже существующих геохимических барьеров: щелочных — на урбанизованных территориях и в районе функционирования предприятий стройиндустрии и черной металлургии; сорбционных — с изменением гранулометрического состава грунта; глеевых — в зонах подтопления; механических — на участках возникновения препятствий для перемещения грунта в зонах создания линейных и площадных положительных и отрицательных форм рельефа.

Незнание естественных природных накопительных барьеров привело, по мнению ряда специалистов, в свое время к гибели очагов древней цивилизации, которые погибли вследствие засоления, связанного с орошением земель сельскохозяйственных ландшафтов (испарительный барьер). Не уделяя внимания техногенным барьерам, мы рискуем потерять и здоровье, и жизнь. С физико-химическими барьерами связано и снижение урожайности, и потеря сельскохозяйственных земель из-за засоления, и развитие ряда заболеваний.

Плотины, создаваемые на реках с незапамятных времен, являются механическими барьерами для веществ, перемещаемых в водной среде. Механическими барьерами для дисперсных частиц, перемещающихся в нижних приземных слоях атмосферы, стали лесополосы. Города, представляющие сложный по структуре техногенный рельеф, являются комплексными геохимическими барьерами и для атмосферного транзита, и для водного и почвенного транзита. На городской территории благодаря вертикальной планировке, засыпке естественной дренажной сети, создании искусственных коммуникаций и других техногенных преобразований возникла сложная геохимическая обстановка, сформировались техногенные потоки и аномалии и «социальные» барьеры, которые не имеют природных аналогов: зоны складирования и захоронения отходов (Касимов, Воробьев, 2002; Касимов, Герасимова, 2002; Касимов и др., 2011; Богданов, 2012; Кошкарев и др., 2013).

Наиболее сложной и неизученной проблемой является формирование комплексных техногенных барьеров за счет механизмов само-

развития природной и природно-техногенной систем. Часто формирование одного из барьеров (например, механического — дамбы, насыпи или прорези дороги) влечет за собой формирование другого, возникающего в грунте, — физико-химического.

Подводя итог изложенному, можно сказать, что деятельность человеческого общества уже оказала существенное геохимическое влияние на формирование антропосферы, изменив миграцию, концентрацию и распределение химических элементов, в том числе изменились и биологические особенности антропосферы. И хотя процесс геохимического преобразования в различных частях земного шара не везде одинаково интенсивен, значительная часть изменений происходит довольно быстро и теснейшим образом связана с техногенными изменениями рельефа. Возможны и вторичные неблагоприятные опасные воздействия измененной морфолитосистемы на медико-экологическую ситуацию — здоровье человека, качество сопредельных сред и техническое состояние антропогенных объектов.

Поскольку «все связано со всем», то нарушение структуры биохимических процессов, уничтожение каких-либо элементов биохимических связей, внедрение чужеродных элементов (намеренное или непреднамеренное) создает в биосфере неконтролируемую ситуацию, в том числе и пандемии (!). Появляются качественно новые формы и виды движения = развития материи.

Антропогенный фактор, особенно на урбанизированных территориях, определяет значительные изменения геохимических свойств грунтов, которые, в свою очередь, служат индикаторами характера состояния морфолитосистемы, трассерами динамики веществ на физическом и физико-химическом уровнях, а также критериями уязвимости геоморфологической системы (подверженности суффозии, карсту, размыву и т.п. деградациям). Геохимические показатели важны для оценки медико-экологической ситуации при диагностике геоморфологически проблемных зон, таящих или несущих угрозу не только жизни и здоровью населения, но и сохранности и безаварийному функционированию антропогенных объектов (Лихачёва, Тимофеев, 1997; Лихачёва, Палиенко, Спаская, 2013).

Обменные вещественно-энергетические потоки, порождаемые процессами «денудации-аккумуляции (загрязнения)», зачастую причиняют вред окружающей среде. Они развиваются в основном под

физико-механическим и химическим как природным, так и антропогенным воздействием. Распознавание эколого-гигиенического состояния земель, в первую очередь морфолитосистемы, на основе оценки и фиксации энергомассопереноса (метаболизма) позволит выработать систему мероприятий рационального природопользования.

Выявление тенденций пространственно-временной изменчивости экологического состояния среды обитания для оценки качества жизни — одна из фундаментальных задач исследований антропогенного морфолитогенеза. Обеспечение комфортных условий жизни неразрывно связано с качеством медико-экологической ситуации, управление которой опирается на рациональное природопользование и целенаправленное вмешательство в систему «состояние окружающей среды — здоровье человека».

Глава 4.

УРБОГЕННЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ НА ТЕРРИТОРИИ МОСКВЫ И НОВОЙ МОСКВЫ

Известно, что города на случайных местах не возникают, а тем более городские агломерации, которым для развития необходимы территориальные ресурсы с определенными, соответствующими комплексу инженерных и экологических требований свойствами природной среды.

В предыдущих главах было показано, насколько сильно изменились геолого-геоморфологические условия на территории центра России, где антропогенные преобразования продолжаются более 1000 лет. Городская агломерация, каковой является Москва, характеризуется большой глубиной изменений (трансформацией) природной среды, распространением на обширных территориях разнообразных техногенных нагрузок, интенсивным замещением естественных природных комплексов урбокомплексами. Здесь возникли и возникают своеобразные искусственные зоны с экстремальными экологическими условиями. Москва в 2012 г. за счет присоединения большой территории Московской области на юго-западе увеличилась по площади более чем в 2 раза (более 2,5 тыс. км²). И на этой огромной территории идет активное преобразование природного комплекса (Геоморфология..., 2017).

Геоморфологический анализ направлен на оценку и прогноз рельефообразующих процессов; оценку взаимосвязей между рельефом и инженерными сооружениями (оценку устойчивости); определение оптимального уровня техногенной нагрузки на геоморфологическую систему (обеспечение устойчивости). Особое место занимают исследования связей между современным, погребенным рельефом и современными рельефообразующими процессами, с одной стороны, между архитектурным рельефом и инженерной деятельностью человека — с другой (Рельеф среды..., 2002). При этом городская территория рассматривается как специфическая геоморфологическая система.

Способность геоморфологической системы «город» сохранять функциональное единое целое и определенный порядок явлений в конкретных пространственно-временных пределах (ее организованность) определяет долговечность города. Рельеф города разрушается под воздействием внутренних (активизация геоморфологиче-

ских процессов, приводящих к разрушению архитектурного и природно-архитектурного рельефа) и внешних факторов — стихийных бедствий природного и антропогенного характера, военных действий, эпидемий и других социально-экономических катаклизмов и преобразований. И в любом случае нарушается целостность геоморфологической системы, что не менее (а скорее более) важно для экосистемы «город». Общество людей с их требованиями к местности, с их техническим, моральным, экономическим, культурным оснащением является главным фактором в развитии и «живучести» города, поскольку город это *форма существования общества и его творение*.

Пространственно-временные пределы города и урбосферы в целом также определяются людьми и их требованиями к комфорту, наличию коммуникаций, их требованиями к ресурсам (сельскохозяйственным землям, лесам, водным ресурсам, полезным ископаемым, рекреационным ресурсам), а также потребностью к безопасности (Очерки..., 2009).

В данной монографии мы концентрируем внимание на анализе творческой созидательно-разрушительной и преобразовательной деятельности людей, в результате которой возникает новая геоморфологическая система.

Урбогенный морфолитогенез

Для геоморфологического исследования важно понимание города не только как экосистемы, но и как морфолитосистемы, или урбогенной морфолитосистемы, антропогенной морфоскульптуры, природной геоморфологической системы с «надстройкой» архитектурного рельефа, которая обладает качествами «среды жизни». Ее устойчивое функционирование обеспечивают, наряду с природными, инженерные (управляемые) связи.

На основе многолетних исследований геоморфологии городских территорий, и в частности Москвы, можно выделить основные *признаки трансформации геолого-геоморфологических условий* урбанизированных территорий.

1. Деградация ландшафта и формирование ландшафта городского за счет благоустройства территории, осушения болот и мелиорации подтопленных территорий, озеленения, создания парков и скверов.

2. Изменения рельефа и рельефообразующих процессов: преобладание выравнивания естественного (природного) рельефа и

неоднозначное увеличение абсолютных отметок, степени расчлененности за счет создания архитектурного рельефа с превышениями над естественными от 2–3 до 100 м и более. Наибольшие техногенные изменения рельефа произошли в долине реки Москвы. Сильно изменен рельеф надпойменных террас: спланирована территория, засыпана овражно-балочная сеть и заболоченные участки. В результате на большей части территории города образовалась толща техногенных грунтов мощностью от 1–6 до 20 м.

3. Существенное изменение состава рыхлых отложений за счет уплотнения, цементации, подсыпки инородного грунта, прокладки коммуникаций и других техногенных преобразований, а также продуктов жизнедеятельности людей — «культурных отложений». Техногенные отложения имеют сложный состав: перекопанные четвертичные и коренные породы, погребенные дорожные покрытия, остатки старых кирпичных фундаментов, отходы производства, включения органики, строительный и бытовой мусор, что способствует изменению инженерных свойств грунтов. Одной из главных причин, вызывающих деформации поверхности земли и, следовательно, зданий, являются слабые несущие способности техногенных грунтов различного генезиса.

4. Общее изменение характеристик энергии рельефа. Изменение морфолитодинамики — направленности экзогенных процессов: линейных горизонтальных (поверхностного смыва и эрозии) на вертикальные (суффозию и карст).

5. Формирование мульды оседания земной поверхности в результате комплексного влияния откачек подземных вод, статических и динамических нагрузок. От нескольких сантиметров до нескольких метров. Из техногенных причин оседания основные: 1) строительство подземных сооружений (метро, коллекторы и пр.); 2) статические и динамические нагрузки от сооружений (промышленных и жилых) и транспорта; 3) образование депрессионных воронок в результате эксплуатации безнапорных и напорных водоносных горизонтов. В Москве в наибольшей мере проявляются мульды оседания вдоль трасс метрополитена. Ширина их изменяется от 40 до 400 м, а глубина достигает 50–80 см. Над тоннелями, пройденными в песках, величина осадок в 3–5 раз больше по сравнению с участками выработок в крепких известняках. Поскольку строительство линий метро и вообще освоение подземного пространства развивается быстрыми темпами, отмеченное явление будет захватывать

все новые площади. При искусственном водопонижении (эксплуатационных и строительных откачках) происходит снижение уровня подземных вод, падение напоров, что ведет к уплотнению пород и оседанию земной поверхности. Оседание поверхности земли за счет уплотнения насыпных грунтов происходит над засыпанной гидросетью. Любые техногенные отложения дают значительные осадки под динамическими и статическими нагрузками. Анализ данных за разные периоды времени показывает значительное возрастание среднегодовых скоростей смещения. Так, в долине реки Москвы среднегодовые скорости смещения за период 1948–1959 гг. составляли всего 0,7–1,8 мм/год, а в последующие годы (1959–1973) увеличились до 1,5–3,9 мм/год. Только за 1965–1973 гг. на отдельных участках Даниловской набережной суммарные оседания составили 72–74 мм (Москва. Город..., 1997). В результате уплотнения грунтов основания около каждого здания образуются осадочные воронки глубиной от долей 1 до 100 см — осадки под действием статических нагрузок. Наибольшие деформации отмечаются в центральной части столицы.

Оседание земной поверхности в пределах Москвы связано и с естественными причинами. Как уже было указано в предыдущей главе, морфоструктурные узлы, обладая высоким природным потенциалом, издревле привлекали внимание человека. В пределах Русской равнины все старинные города (ныне областные центры) располагаются в морфоструктурных узлах. Москва тоже расположена на территории морфоструктурного узла. Многообразие природных ландшафтов, в том числе долина реки Москвы, тесно связано с блоковой структурой Московского узла. По мнению Е.Я. Ранцман и М.П. Гласко (2004), мелкоблоковая раздробленность территории способствует напряженному состоянию горных пород, усилению вертикальной миграции флюидов и водно-газовых потоков, увеличению сейсмичности. Некоторые аварийные ситуации, по мнению этих авторов, на территории города могут быть объяснены активизацией морфоструктурных подвижек. Имеющиеся материалы по скорости современных вертикальных движений центра Восточно-Европейской платформы свидетельствуют в целом об устойчивости территории города. Западнее города территория испытывает слабые поднятия со скоростью 0–2 мм/год, восточнее — устойчивые опускания с той же скоростью (Москва. Город и геология, 1997; Гитис и др., 2016).

6. Наличие техногенных физических полей — тепловых, электрических, динамических — одно из главных отличий антропогенного морфолитогенеза (Богословский и др., 2000; Жигалин, 2002; Чеснокова, Локшин, 2016; Балдина, Грищенко, 2016). Характеристика техногенных физических полей: динамического 30–80 дБ, шумового 40–110 дБ, электрического 0,01–1,2 В/м, теплового — превышение над естественной температурой на 3–4°, иногда на 10–15°. В частности, динамические нагрузки при движении транспорта, действии строительных и других ударно-вибрационных механизмов, производстве взрывных работ оказывают различное воздействие на породы в зависимости от их состава и структуры. Обычно происходит уплотнение рыхлых, недоуплотненных и нарушение структуры тиксотропных грунтов. В Москве здания, расположенные вдоль улиц с интенсивным транспортным движением, осели в большей степени (11–25 мм), чем здания в переулках и тупиках (7–17 мм). Разгрузка транспортного потока в центре столицы и его интенсификация на периферии, а также производство строительных работ приводит к возрастанию роли динамических нагрузок в оседании поверхности земли в районах новостроек.

7. Существенное преобразование структуры гидросети и обводненности территории. Формирование новой структуры поверхностного и подземного стока. Изменение режима грунтовых вод и их физико-химических свойств. Истощение подземных вод. Средняя величина питания грунтовых вод за счет утечек из коммуникаций равна 200–250 мм/год, что увеличивает объем питания техногенно-погребенных рек в 2–3 раза.

8. Формирование зоны урбогенного гипергенеза с преобладающим развитием зональных процессов выветривания — выщелачивания и окисления, процессов почвообразования с нетипичными образованиями вторичных минералов, органоминеральных новообразований и зон концентрации «загрязнений» — геопатогенных зон (Рельеф среды..., 2002; Касимов и др., 2016 и др.). В зоне урбогенного гипергенеза происходит активизация процессов химического и физического выветривания за счет повышения агрессивности грунтовых вод, изменения их режима, развития суффозионно-просадочных явлений и карста, гниения органических остатков, возникновения геофизических полей (тепловых, электрических, вибрационных), развития геопатогенной микрофлоры и возникновения геопатогенных зон. Возникли новые гидрогеологические и

геохимические условия за счет инфильтрации загрязненных поверхностных вод и утечек из водонесущих коммуникаций и общего повышения уровня грунтовых вод; изменился и состав грунтов за счет техногенных отложений, внедрений строительных конструкций и различных коммуникаций, а также хранилищ разного рода химических препаратов (и удобрений в том числе), которые представляют опасность для жизни людей.

9. Необратимые изменения геохимических и геофизических свойств грунтов на территории, интенсивная переработка природного материала и синтез новых, неприродных материалов существенно изменяют санитарно-гигиеническую обстановку среды жизни людей.

10. На территории города формируется «рельеф архитектуры». В Москве в настоящее время можно выделить несколько разновременных и разнородных зон застройки с различными инженерными и физико-химическими свойствами. Исторической застройки остается все меньше и меньше. Даже в Кремле наиболее древними являются только отдельные объекты и, в основном, это фундаменты бывших зданий, т.е. уже элементы геологической среды. Отдельные исторические объекты (храмы, церкви, усадьбы, путевые замки) встречаются в разных районах Москвы. Некоторые из них уже претерпели «преобразования» (были уничтожены, а затем восстановлены) и могут считаться «условно историческими» (Лихачёва, 2007). В пределах Центрального округа сохранилось достаточно много капитальных зданий до 10–12 этажей XIX–XX вв. с глубокими подвалами. Но все чаще в структуру города вклиниваются высотные здания (так называемая «точечная застройка» высотой до 50 и более этажей).

В последние годы в процессе развития архитектурного рельефа преобладают два направления. Это — реновация жилого фонда — замена панельных и устаревших зданий (пятиэтажек) на построенные в том же месте, но в 3–5 раз выше. Другое направление — перепрофилирование и перепланировка промзон, которая идет двумя путями: первый — снос промышленных зданий и замена их на многоэтажные жилые и офисные здания с формированием на мощных техногенных отложениях зон отдыха и развлечений. Второй путь — сохранение капитальных промышленных сооружений и полная внутренняя их перестройка. Вокруг этих переориентированных объектов тоже формируется зона отдыха. И в том, и в другом случае уменьшается или исключается загрязнение грунтов и грунтовых вод, но сохраняются, а иногда и увеличиваются статические, динамические (вибрацион-

ные), тепловые и электрические нагрузки. В целом рельеф города имеет тенденцию к «росту вверх» при постоянно увеличивающейся глубине воздействия на литосферу.

Механизмы саморегулирования функционирования — работу закона внутреннего динамического равновесия урбанизированных морфолитосистем — или «жизнедеятельности» (по О.В. Кашменской) можно представить в относительно схематическом виде. В каждом варианте функционирование осуществляется за счет определенной группы системных связей:

- Морфологические связи. Прямые техногенные трансформации рельефа ⇒ изменения скорости и направленности геоморфологических процессов ⇒ изменения состава грунтов ⇒ косвенные изменения рельефа (восстановление равновесия) ⇒ корректирование созданного техногенного рельефа и направленности естественного развития рельефа.

Казалось бы, что инженерные изменения рельефа согласуется с эволюционной схемой развития: денудация вершин — выполаживание склонов — заполнение долин. Но в цепи техногенных преобразований лишь верхнее звено можно условно сопоставить с природной денудацией. Отрицательные формы рельефа в процессе строительства обычно уничтожаются — засыпаются, как правило, инородным грунтом. Нередко эта толща не имеет аналога в природе. Косвенные изменения рельефа обычно проявляются в виде оседания поверхности, провалов и иногда заболачивания.

- Морфодинамические связи. Изменение условий рельефообразования ⇒ изменение направленности естественных рельефообразующих процессов ⇒ изменения морфолитогенеза ⇒ косвенные изменения рельефа ⇒ коррекция развития.

Развитие рельефа, закрытого городской застройкой, отличается от развития аналогичных форм рельефа в природных условиях: нет постепенного сноса материала с поверхности, практически отсутствует делювиальный смыв и линейная эрозия. Правда, остается медленное вековое движение материала вниз по склону под влиянием силы тяжести, но этот процесс в связи с дополнительными и неравномерными техногенными нагрузками нередко приобретает более интенсивный характер. Косвенные изменения рельефа проявляются в виде деформации поверхности как результат активизации суффозии вдоль искусственных русел — коллекторов и других коммуникаций. Иногда возникают провалы.

- Морфоструктурные и морфодинамические связи. Воздействие на литогенную основу \Rightarrow изменение грунтов \Rightarrow активизация геологических процессов \Rightarrow косвенные изменения рельефа \Rightarrow изменение геоморфологических условий.

Активное техногенное воздействие (статическое, динамическое, тепловое, химическое, микробиологическое) на литогенную основу изменяет экзодинамические состояние литосферы, вызывает активизацию геологических процессов. На территории города изменяются в том числе и сейсмические свойства грунтов. Чисто антропогенным источником энергии, вызывающим изменение функционирования геоморфологической системы, стало вибрационное воздействие. При движении автотранспорта по городским магистралям создаются колебания грунта частотой до 60–70 Гц, что соответствует землетрясению в 304 балла. Транспортные магистрали и узлы оказывают интенсивное концентрированное влияние на геологическую среду (Локшин, Чеснокова, 1992; Чеснокова, Локшин, 2016). Кроме образования зон вибрационного воздействия, транспортные магистрали вызывают образование электрического поля, тепловых потоков в грунте. В совокупности с изменением водного режима это приводит к изменению физико-химических свойств грунта и активизации нежелательных процессов.

Наличие техногенных отложений оказывает значительное влияние на природные и техногенные компоненты городской морфолитосистемы. Проведенный ранее корреляционный анализ геолого-геоморфологических характеристик для наиболее урбанизированной центральной части Москвы показал, что часть природных зависимостей утрачена, а мощность техногенных отложений практически не зависит от морфометрических характеристик рельефа и литологического состава четвертичных отложений. Наибольшие мощности техногенных отложений тяготеют к долинам, где максимально изменена морфометрия рельефа.

Техногенная нагрузка на природную среду с каждым днем увеличивается. Приведенные количественные данные все время изменяются, но все равно остаются весьма значительными. О мощности воздействия на геологическую среду можно судить по глубине заложения линий метрополитена. Наибольшая плотность станций метрополитена приурочена к центральному округу Москвы (рис. 4.1, цв. вкладка). Их больше 40! Соответственно в геологической среде множество инженерных конструкций, в том числе и водонесущих коммуникаций, которые придают толще отложений новые физико-химические свойства.

Трансформация геоморфологических условий на городской территории — это формирование антропогенно-геоморфологической системы со свойственными только ей особенностями структуры.

Можно выделить четыре слоя взаимосвязанных подсистем (или четыре подсистемы) (рис. 4.2):

а) рельеф архитектуры с комплексом техногенных коммуникаций высотой до 50 м и более (16 этажей и более); функционирование осуществляется инженерными связями;

б) почвенный слой — слой коммуникаций, дорожного покрытия, формирования техноземов и геопатогенных зон, мощность (глубина) до 3 м;

в) слой фундаментов, подвалов, искусственных водоемов и техногенно-погребенной гидросети мощностью до 20 м; формирование технолитов и техноаллювия в коллекторах и водоемах;

г) слой метрополитена, водозабора, подземных сооружений мощностью до 50–80 м и более. Слой изменения напряженного состояния горных пород, активизации карста и геодинамических процессов.

Таким образом, антропогенно-геоморфологическая система = урбогенная морфолитосистема формируется на границе атмосферы,

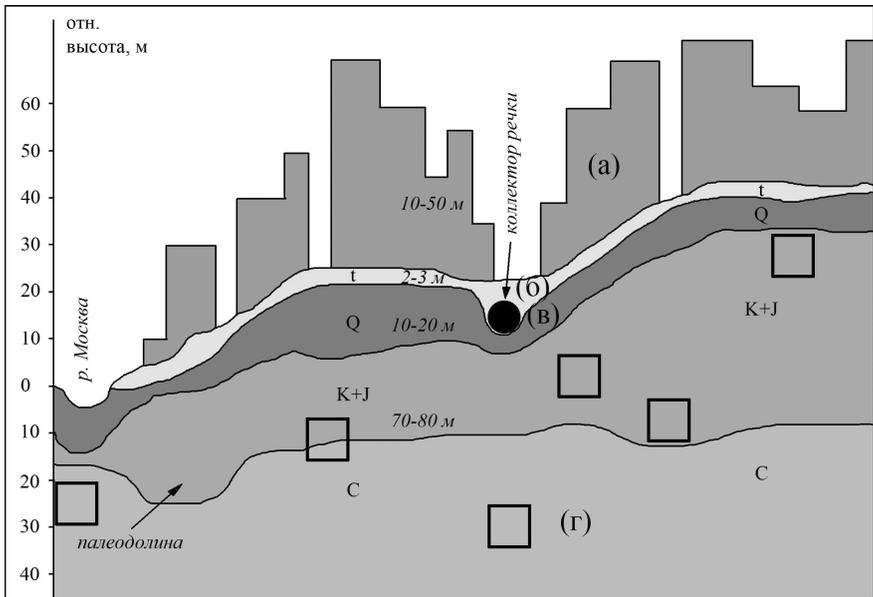


Рис. 4.2. Схема зон урбогенного морфолитогенеза и гипергенеза в центре Москвы. Структура урбогенной морфолитосистемы города

гидросферы и литосферы. Инженерные связи активизируют природные в приземном слое мощностью до 150–200 м. В результате изменяются и условия водообмена и его структура, и физико-химические свойства воздуха — воды — грунтов, и инженерные, и экологические свойства территории = природной морфолитосистемы (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Схема водообмена на урбанизированной территории: путь атмосферных осадков

Урбогенный морфолитогенез характеризуется комплексом процессов денудации-аккумуляции, выветривания и почвообразования, существенно отличающимися от регионального типа морфолитогенеза: преобладанием органоминеральных и синтетических компонентов в геологической среде, наличием техногенных физических полей и геохимических аномалий (биохимических и физико-химических полей), а также архитектурными (инженерными) преобразованиями. Урбогенный морфолитогенез — особенность формирования и функционирования антропогенно-геоморфологической системы. При этом природные процессы, свойственные географической среде, развиваются на территории города вне зависимости от этого преобразовательного-созидательного действия, и можно (с определенной долей оптимизма) говорить о саморазвитии геолого-географической среды городской территории.

Трансформация водосборов малых московских рек в процессе урбогенеза

Одним из перспективных направлений исследований трансформации геолого-геоморфологических условий на урбанизированных территориях представляется изучение рельефа в пределах водосборных бассейнов, которые можно рассматривать как морфолитосистемы, способные определенным образом реагировать на изменения комплекса показателей геоморфологических и геологических условий. Элементы водосборного бассейна связаны между собой вертикальными и горизонтальными потоками вещества и энергии поверхностным и подземным стоком. Техногенез вносит существенные коррективы и в водообмен, и в обмен вещества. Одна из характерных его черт — густая сеть подземных коммуникаций разного возраста, в том числе и коллекторы малых рек.

В 1870 г. Московская городская дума, планируя развитие городской канализации, приняла решение о создании новой карты города, содержащей метрические сведения о рельефе. Выиграл проект, поданный преподавателями Константиновского межевого института Н.Н. Смирновым, Д.П. Рашковым и А.П. Захаровым (последний в дальнейших работах не участвовал), и в 1874–1877 гг. была проведена мензурная и нивелирная съемка территории. На основании первичного съемочного оригинала было составлено несколько вариантов «нивелирных планов Москвы», наиболее известным из кото-

рых и фактически первым картографическим изображением Москвы в горизонталях является «Нивелирный план города Москвы. Составлен на основании тригонометрической сети, по съемке и нивелировке города в 1874–1877 годах межевными инженерами Н.Н. Смирновым и Д.П. Рашковым». Огромная карта масштаба 1:8400 с горизонталями, проведенными через 1 сажень, была напечатана в 1879 г. (Маккавеев, Федорович, 2013). В 1888 г. вышло второе издание этого плана в том же масштабе, но с большим охватом территории. Работами руководил уже только Д.П. Рашков. На карте показана Москва конца XIX в. в пределах Камер-коллежского вала и ее ближайшие окрестности (Марьяна Роща, д. Кожухово, Даниловская слобода и др.). Довольно густая уличная сеть того времени сохранилась во многих районах без значительных изменений до сих пор. Именно этот вариант карты и был использован в данной работе.

Рельеф на плане показан с помощью горизонталей в относительных отметках (саженях) над меженным урезом р. Москвы («московский ноль») с шагом через каждую сажень, что соответствует примерно 2 м. Такая точность изображения делает план важнейшим источником информации о рельефе столицы конца XIX в.; детальный масштаб позволяет сравнить его с более поздней топокартой Москвы 1984 г. масштаба 1:10 000 (с горизонталями, проведенными через 2 м).

На основе построенных ЦМР и векторного слоя с границами водосборных бассейнов вычислены морфометрические показатели рельефа внутри бассейнов: максимальные, минимальные и средние абсолютные отметки рельефа, длины водотоков в конце XIX и конце XX в., площади водосборных бассейнов. Показатель густоты расчленения более ста лет назад для рек центра Москвы (Неглинной, Пресни, Ходынки и др.) характеризовался величинами 0,8–1,2 км/км².

На территории города большие площади могут быть отнесены к водонепроницаемым, уменьшающим испарение и инфильтрацию: застроенные, покрытые асфальтом и бетоном, участки с искусственно уплотненными почвами. Наличие их в водосборном бассейне увеличивает поверхностный и снижает подземный сток при общем увеличении полного речного стока (Михайлов, 1982). Во время сильных дождей склоновый сток с участков, имеющих искусственное покрытие, составляет от 50 до 80%, а в центральных частях даже 80–90% от общего склонового стока. Сток с них не пополняет запасы грунтовых вод, как прежде, а попадает в ливневую канализацию или непосредственно в реки. Н.И. Коронкевич и К.С. Мельник отмечают, что

увеличение всего на 1% водонепроницаемых площадей способствует росту речного стока ориентировочно на 2–3% что, в свою очередь, приводит к затоплению и подтоплению пониженных территорий, особенно во время дождевых паводков (Коронкевич, Мельник, 2015).

Несмотря на то что большинство малых рек на территории города перестали существовать как открытые водотоки, их бассейны по-прежнему служат водосборами, но уже теперь главным образом подземного стока. Водоразделы элементарных водосборов уничтожены, но главные (рек 3-го порядка) сохранились. Улицы, проходящие на месте исчезнувших рек (например, улицы Неглинная, Конюшковская и др.), по-прежнему ниже кварталов, занимающих бывшие водоразделы, и при паводках затопляются в первую очередь. Кроме двух «этажей» в бассейнах таких рек есть еще и третий — этаж канализации и дренажа, густота которых значительно превышает густоту уничтоженной поверхностной эрозионной сети. На каждом условном этаже деятельность потока проявляется по-своему. Нарушение структуры стока вызывается и внедрением технических сооружений со сбросом вод в более глубокие водоносные горизонты, которые в естественном состоянии не оказывали бы прямого влияния на сток в бассейне реки, освоенном городом.

Даже скрытые под водонепроницаемым покровом подземные потоки получают достаточное питание для продолжения своей работы. Один из источников этого питания — рост атмосферных осадков, вызванный изменением климатических характеристик (в основном развитием конвекции) урбанизированных территорий (Dixon, Mote, 2003; Алексеева и др., 2017). В столице значительно возросло среднегодовое количество осадков, особенно в восточной (с 600 до 675 мм) и южной (с 600 до 700 мм) ее частях (Михайлов, 1982). Увеличились продолжительность ливней высокой интенсивности, временная и пространственная неоднородность дождей средней интенсивности, количество осадков в теплый период года. В результате к началу XXI в. слой годового стока по сравнению с серединой XIX в. возрос более чем на 100%, главным образом за счет поверхностного стока со склонов в теплое время года, обусловленного в основном ростом урбанизации (Геоэкология Москвы..., 2006). Рост количества выпадающих на территории города осадков влечет за собой соответственно увеличение частоты паводковых расходов воды; повышение уровня сточных вод приводит к активизации эрозионной деятельности водотоков и увеличению количества транспортируемых наносов.

Хотя часть стока подземных потоков «теряется» — вывоз снега зимой, непроницаемое покрытие поверхности, отбор подземных вод для водоснабжения, — уровень грунтовых вод повышается в большинстве городских районов. Об этом можно судить по широкому распространению в столице подтопления подвальных помещений, фундаментов и возникновению зон избыточного увлажнения (подтопления «скрытого типа»). Подтопление происходит в основном из-за потерь вод из подземных водных коммуникаций, интенсивной поливки городских территорий летом, а также создания глубоких фундаментов и подземных сооружений, перекрывающих пути разгрузки подземных вод (Кочетова, 1983; Маккавеев, Федорович, 2013 и др.).

Там, где эрозионная сеть просто засыпана грунтом — обычно верховья малых рек, овраги, балки, — подземный поток вымывает глинистые частицы, выносит соли и другие растворимые вещества. В результате начинают действовать суффозионные процессы, нехарактерные для геолого-геоморфологических условий Москвы; а поверхностные потоки могут совершать свою эрозионную работу только в местах отсутствия твердого покрытия (асфальта, плитки и т.п.) или при нарушении сплошности последнего.

Многие водотоки сначала были заключены в кирпичных коллекторах, затем их сменили бетонные. Коллекторы вместе с «впадающей» в них ливневой канализацией образуют разветвленную подземную сеть водотоков. Такие потоки во многом отличаются от потоков, текущих в открытых руслах. В них нередко возникает напорное течение, встречающееся не часто в открытых водотоках на равнинах, а паводки из-за огромного количества переносимого материала напоминают сели. Во время ливней подземные реки выходят из «берегов» коллекторов.

В руслах подземных водотоков при небольших скоростях течения происходит аккумуляция, в том числе загрязняющих веществ; из мусорных скоплений происходит выделение сероводорода и метана.

Засыпанные долины являются территориями пониженной устойчивости, что подтверждается статистикой аварий, вызванных провалами проезжей части и проседаниями грунтов, происходящих в столице (Геоэкология Москвы..., 2006). Они влияют на устойчивость зданий и сооружений, возведенных на их берегах. Например, некоторые здания, расположенные на левом, крутом борту долины р. Неглинной (район между улицами Рождественка и Неглинная), деформируются из-за сползания по склону верхних горизонтов грунтовой толщи, особенно техногенных отложений, вызванного влия-

нием дополнительной нагрузки, оказываемой этими зданиями (Маккавеев, Махорина, 2009).

Для исследования были выбраны пять водосборных бассейнов рек: Неглинной, Пресни, Чечёры (Ольховки), Золотого Рожка и Ходынки, — расположенных в современном центре города, и проведен анализ изменения рельефа в пределах речных бассейнов за столетие, прошедшее со времени составления «нивеллирного плана» 1888 года. Все они находятся на левобережье р. Москвы — основной территории столицы до XX века. Сейчас их русла полностью помещены в коллекторы.

Неглинная, левый приток р. Москвы, — первая и, наверное, самая известная из техногенно погребенных рек города — протекает с севера на юг, ее исток был в болотах исторического района Марьино Роша, а устье — в районе Водовзводной башни Кремля. Ее длина достигала 7,5 км, а площадь бассейна — около 14 км². На своем протяжении она принимала ряд коротких притоков, самый известный из которых р. Напрудная (Рыбная). У р. Неглинной развиты две аккумулятивные надпойменные террасы. Относительная высота первой террасы 10–12 м, второй — 15–18 м, сложены они разнозернистыми аллювиальными песками с включением гравия и гальки. Впоследствии русло спрямили, и в настоящее время коллектор с водами Неглинной расположен у восточных стен Кремля в районе Большого Москворецкого моста.

Протекавшая непосредственно у стен Кремля и защищавшая его с запада, р. Неглинная подвергалась активному антропогенному влиянию с давних времен: ее берега застраивались, на реке стояли мельницы, устраивались плотины, набережные на отдельных участках укреплялись, часть воды отводилась в искусственные рвы. В 1817–1819 гг. в ходе глобальной реконструкции центра Москвы после войны 1812 г. реку перекрыли кирпичным сводом на протяжении 3 км. А в 1862–1876 гг. в подземной трубе скрыли еще значительный участок — до Селезневской улицы. Окончательно же Неглинная исчезла с карты в начале XX в., когда в 1911–1912 гг. были спрятаны в коллектор ее верховья (Лихачёва и др., 2001). Мощность техногенных отложений в долине реки 6–10 — до 15 м.

Пресня — левый приток р. Москвы. Длина водотока составляла порядка 4,5 км. Исток Пресни находился в Горелом болоте недалеко от Рижского вокзала. Река впадает в Москву-реку у Новоарбатского моста, недалеко от Смоленской набережной. В 1908–1915 гг. бóльшая

часть прудов на р. Пресне спущена и засыпана, сама река заключена в подземные трубы, верховья полностью уничтожены (Маккавеев, Махорина, 2009). В 1930–1940 гг. отвалами метростроя засыпаны Горелое болото и исток реки. В современном рельефе от реки остались только фрагменты — Пресненские пруды на территории Московского зоопарка.

Чечёра (Ольховка) — правый приток Яузы — брала свое начало к северу от Ярославского вокзала. Длина реки была около 4 км. Река частично спрятана в коллектор уже в начале XX в. и в настоящее время на всем своем протяжении протекает под землей. При постройке Сыромятнического гидроузла уровень Яузы в районе устья повысился из-за подпора гидроузла. Поэтому в 1938 г. коллектор перестроен так, что вместо впадения в Яузу около Елизаветинского переулка р. Чечёра в коллекторе стала идти параллельно р. Яузе, а соседняя малая река Черногрязка впадать в р. Чечёру, и их общее устье оказалось чуть ниже плотины гидроузла.

Золотой Рожок — нижний левый приток Яузы — брал свое начало в болотистой местности в районе современной платформы Серб и молот и впадал в Яузу в районе Андроникова монастыря. В настоящее время река заключена в коллектор. Длина водотока 2,3 км. Мощность техногенных отложений в долине реки в основном 5–7 м.

Ходынка — левый приток р. Москвы длиной 7,8 км, площадь бассейна 18,3 км² — еще в середине XX в. текла в своих естественных берегах. Она берет начало к югу от современной «Лесной опытной дачи» Сельскохозяйственной академии, где когда-то находились болота. Впадает Ходынка в р. Москву между 3-м Силикатным проездом и улицей Шеногина, глубоко врезааясь в аллювиальные отложения террас р. Москвы.

Ходынка — небольшая река, ее расход был незначителен и в межень не превышал нескольких литров в секунду (Лушихин, 1947).

В верхней части бассейна Ходынки четвертичные по большей части песчаные аллювиальные и флювиогляциальные отложения залегают на меловых и юрских глинах — главном водоупорном горизонте столицы. В низовьях реки, где на глубине 30–40 м проходит русло дочетвертичной пра-Москвы, юрские глины размыты, и четвертичные отложения перекрывают трещиноватые и закарстованные карбоновые известняки.

К середине XIX в. относятся и первые достоверные сведения о рельефе территории бассейна. В 1856 г. военный инженер А.И. Дель-

виг для проведения водопровода в военный лагерь на Ходынском поле составил карту данного района. В естественном виде долина Ходынки отличалась крутыми склонами, расчлененными множеством мелких оврагов и овражков. Русло ее было очень извилистым. Запруды делили речку на ряд прудов. Ближко залежали грунтовые воды. Местность была типично сельской, малозастроенной.

К 1956 г. река заключена в коллекторы. В настоящее время территория бассейна р. Ходынки значительно изменена градостроительством, и его можно считать полностью техногенным. Плотность застройки достигает 30–50%. Мощность техногенных отложений более 10 м. Все это привело к выравниванию поверхности: снижены густота и глубина расчленения, причем густота в большей степени (засыпаны овраги и небольшие промоины, водотоки и временные русла). При этом если в XIX в. наблюдалась положительная корреляция между крутизной склонов и глубиной расчленения (0,46), в XX в. такая связь практически отсутствует.

Застройка практически свела к минимуму проявления поверхностных рельефообразующих процессов. Однако более активны подземные «скрытые» процессы. Там, где четвертичные отложения залегают непосредственно на известняках, отмечается наибольшее число случаев деформаций зданий и сооружений, вызванных оседанием земной поверхности.

Морфометрический анализ показал, что общий характер рельефа центра города за 100 лет в общих чертах сохранился, остается тем же соотношением водоразделов и долин, почти не изменились границы водосборных бассейнов. Практически во всех бассейнах абсолютные отметки рельефа незначительно увеличились. Однако в среднем изменение абсолютных отметок за 100 лет не превышает 0,6 м (бассейн Пресни), а в остальных анализируемых бассейнах — около 0,2–0,4 м. Максимальные абсолютные отметки выросли в бассейнах рек, расположенных в центре города (Неглинная) и недалеко от центра (Пресня), почти не изменились в бассейне Чечёры и уменьшились в бассейне Золотого Рожка, протекавшего в конце XIX в. по городским окраинам.

Для центральной части Москвы характерен сравнительно пологий рельеф (от 1,5 до 3°). Можно отметить, что в процессе антропогенной трансформации речных бассейнов в городе площадь субгоризонтальных поверхностей увеличивается за счет выравнивания и выполаживания склонов и уменьшения площади поверхностей круче 1,5° и

более. В настоящее время она составляет не менее 3/4 всей территории анализируемых бассейнов, превышая в бассейне Пресни 88% (увеличение за 100 лет более чем на 4%). Наиболее крутые склоны (свыше 12°) практически исчезли.

За последние 100 лет кардинально изменился водный баланс малых рек Москвы. В естественных условиях около 2/3 атмосферных осадков испарялось и просачивалось в грунт, тогда как только 1/3 приходилось на поверхностный сток. Сейчас же на поверхностный сток тратится более 2/3 выпадающих осадков, так как значительная часть поверхности бассейна стала практически водонепроницаемой. Поэтому, несмотря на уменьшение уклонов рельефа, скорости течения и мощности потоков возросли, а с ними и их эрозионный потенциал. В настоящее время *сохраняется угроза ливневых паводков.*

Современные геоморфологические процессы в бассейнах малых рек кардинально изменились по сравнению с естественными. Раньше здесь преобладали плоскостной смыв, речная и овражная эрозия, аккумуляция, заболачивание. Сейчас на гораздо большей части территории происходит подтопление. Поверхностный сток переведен в систему ливневой канализации, которая не всегда справляется со стоком загрязненных вод и постоянно забивается наносами. Часть воды уходит в грунт, в основном в техногенно погребенные долины, заполненные разнородными и неустойчивыми техногенными отложениями; наблюдаются случаи суффозии, с которыми связаны аварии и просадки грунта, деформации зданий (Федорович и др., 2004; Геоэкология Москвы..., 2006; Маккавеев, Махорина, 2009).

Бассейны рассмотренных рек подвержены многократному и разнообразному антропогенному воздействию, которое привело к нивелировке рельефа долин (русла водотоков заключены в коллектор), и их водоразделов. Однако если в долинах малых рек, текущих на поверхности урбанизированных территорий, геоморфологические процессы ослабевают и даже замирают, то спрятанные в коллектор такие реки вызывают интенсификацию процессов, приносящих значительный ущерб городскому хозяйству.

Рассмотренные водосборные бассейны центра Москвы прошли следующие этапы антропогенно-техногенной трансформации.

1. Бассейн малой реки с хорошо выраженными руслом и надпойменными террасами (природная система).

2. Частично канализированное русло (отдельные участки русла скрыты в подземный коллектор) с сохранением в целом структуры водосбора (природно-антропогенная система).

3. Русло полностью взято в коллектор. Водосборный бассейн застроен, проведены вертикальная планировка и ливневая канализация, зарегулирован поверхностный сток (техногенно-природная система). Без инженерного контроля система может выйти «из строя».

Участки интенсивной антропогенной нагрузки, претерпевшие наибольшие антропогенные изменения рельефа, характеризуются и наибольшим числом случаев деформаций материально-технических объектов в расчете на единицу площади, наибольшим числом случаев нарушения асфальтового покрытия в результате его просадки и подтоплением подвалов. К ним относятся устьевые участки полностью зарегулированных бассейнов (Лихачёва и др., 2021).

Проведенные мероприятия по планировке территории города ухудшили инженерно-геологические условия. Поскольку засыпанные овраги и ручьи по-прежнему являются водосборами, накапливающиеся в подземных руслах воды обуславливают развитие суффозии, что приводит к образованию пустот и способствует деформации поверхности земли.

На закарстованных участках в результате откачки карстовых вод нарушается гидродинамическое равновесие и происходит перенос песчаного материала из вышележащих слоев водонасыщенных толщ в карстовые полости и образование провальных воронок и неравномерных мульд оседания на поверхности земли.

Откачка подземных вод для водоснабжения и снижение на уровне в связи с проходкой метрополитена, строительством разного рода подземных сооружений приводят к увеличению скоростей движения воды, промыванию пустот и трещин, что способствует интенсификации карстово-суффозионных процессов и оседанию поверхности. Карстово-суффозионные явления относятся к одному из опаснейших и трудно прогнозируемых процессов. В последние годы на территории Москвы они привели к локальным провалам и неравномерным оседаниям отдельных участков поверхности земли, которые ранее на территории Москвы никогда не проявлялись. Возникновение деформаций поверхности в городе сильно осложняется и усиливается различными видами антропогенного воздействия (статические нагрузки, тепловые утечки из подземных коммуникаций, развитие

линейной суффозии вдоль засыпанных водотоков и т.п.) на территориях жилой и промышленной застройки, что приводит к большим трудностям в прогнозировании и определении расчетных величин деформаций (Москва. Геология и город, 1997).

Особенности водообмена на городской территории можно представить в виде довольно упрощенной схемы (рис. 4.3, с. 44). Однако она все-таки позволяет определить структуру наблюдений за процессами урбогенного морфолитогенеза, необходимых для успешного управления городским хозяйством.

Антропогенная нагрузка на речные бассейны Новой Москвы и их трансформация

Антропогенные факторы оказывают сильное, нередко решающее влияние на эколого-геоморфологическую обстановку. Очень многое зависит от характера и интенсивности хозяйственной деятельности на данной территории. Особенно значимый фактор — количество населения. Городское население определяет и размеры города при его возникновении, и при его развитии. Увеличение площади городской территории, в свою очередь, вызывает усиление одних рельефообразующих процессов, ослабление и даже исчезновение других, а также нередко возникновение прежде для данного региона не характерных. Влияние этого фактора, в свою очередь, меняется со временем, отражая конкретную историческую эпоху, уровень развития производительных сил общества, типа и величины населенных пунктов, их технических и экономических возможностей.

Согласно одной из современных классификаций (Ковалев, Чалов, 2021) населенные пункты можно разделить на четыре типа, взаимодействие которых с эрозионным рельефом (реками, балками, оврагами) зависит от их величины.

1. *Подчиненные эрозионному рельефу* сельские поселения с населением до 10 тыс. человек, малые и отчасти средние города (до 100 тыс. человек).

2. *Соподчиненные* (численность населения 100–200 тыс. человек) — большая часть строений в них вписана в эрозионный рельеф.

3. *Подчиняющие эрозионный рельеф* — крупные и крупнейшие города с населением свыше 500 тыс. человек. На их территории происходит частичное преобразование рельефа.

4. *Подавляющие эрозионный рельеф* — города или их части, крупные промышленные предприятия, где строительство ведется с практически полным преобразованием территории под нужды застройки.

Изменения в рельефе центральных районов Москвы с конца XIX в. до настоящего времени связаны во многом со значительным ростом города, что привело к уничтожению поверхностных русел небольших рек и густота эрозионной сети стала близка практически к нулю (Лихачёва и др., 2020; Лихачёва и др., 2021). В работе выделяются три этапа антропогенно-техногенной трансформации бассейнов малых рек:

1. Природная система, когда в бассейне сохраняются хорошо выраженное русло и надпойменные террасы. В целом этот этап характерен для первого и второго типов населенных пунктов (Ковалев, Чалов, 2021).

2. Природно-антропогенная система; русло частично канализовано, а его отдельные участки скрыты в подземный коллектор, но структура водосбора в целом сохраняется. На территориях с подобными системами рельеф частично преобразован (соответствует третьему типу).

3. Техногенно-природная система. Русло полностью взято в коллектор. Водосборный бассейн застроен, проведены вертикальная планировка и ливневая канализация, зарегулирован поверхностный сток. Территория полностью преобразована под нужды застройки. Такая система обычна для 4-го типа населенных пунктов классификации С.Н. Ковалева и Р.С. Чалова (2021).

Вполне понятно, что рост крупных городов изменяет эколого-геоморфологическую ситуацию не только на старообжитых территориях. Она кардинально изменяется и в новых городских районах. В настоящее время происходит освоение Новой Москвы, за счет которой в 2012 г. площадь города увеличилась примерно в 2,4 раза. Эти территории, выведенные из состава юго-западной части Московской области, объединены в два административных округа — Троицкий и Новомосковский, получивших общее наименование ТиНАО.

Новая Москва расположена на междуречье рек Оки и Москвы — Москворецко-Окской равнине. Наиболее высокая часть Новой Москвы — Теплостанская возвышенность находится на севере ТиНАО, у границы старой Москвы. Южнее возвышенности развиты моренно-эрозионные увалистые и холмистые равнины. Местами,

особенно на востоке и юго-востоке района, встречаются плоские зандровые и озерные поверхности. Значительные пространства равнин, особенно находящиеся ближе к старой Москве, до недавнего времени были распаханы, в настоящее время большая часть пашен заменилась дачными участками или поросли кустарником и мелколесьем, т.е. превращены человеком в особый тип культурного ландшафта, пока еще практически неизученный с точки зрения их влияния на природу. Он несколько напоминает хорошо известный во многих странах Западной Европы, особенно в сельскохозяйственных районах Нормандии и Бретани, ландшафт «бокаж», где сельскохозяйственные угодья отдельных фермерских хозяйств отделены друг от друга лесопосадками и живыми изгородями и даже окружены земляными насыпями. Подобная система защищает участки от ветра, осадков, эрозии почвы. Понятно, что «подмосковный дачный бокаж» оказывает несколько иное влияние на окружающую среду, чем западноевропейский поскольку они находятся в разных климатических обстановках, различны их размеры, внутреннее устройство, назначение. На юге Новой Москвы водораздельные пространства в основном залесены.

Несмотря на значительную антропогенную трансформацию, на части территории Новой Москвы сохраняются опасные геолого-геоморфологические процессы, главным образом оползни, карст и суффозия. Они сильно осложняют хозяйственную деятельность, хотя нередко ею и вызваны. Большинство оползней поверхностные, мелкие. Неглубокое залегание известняков и отсутствие местами водоупорных юрских глин, их перекрывающих, — причина развития карста, особенно в полосе примыкающей к долине Пахры, по берегам р. Рожайки, на междуречьях р. Мочи и притоков р. Лопасни, в долине Десны, в оврагах, долинах ручьев и небольших рек, прорезающих близкие к поверхности известняковые отложения (Абрамович, 1947; Болысов, Неходцев, 2017). При обрушениях над каменоломнями и штольнями часто образуются овраги, котловины, рвы и провальные воронки; карст нередко сопровождает суффозия (Долотов, Парфенов, 2013).

Но самое серьезное препятствие для хозяйственной деятельности в Новой Москве — недостаток, если не сказать «дефицит», водных ресурсов.

Ширина рек не превышает 50–70 м. В их долинах выделяются до трех надпойменных террас, в низовьях рек Пахры и Десны появляется четвертая терраса. Основной источник питания — снеговые воды,

в теплый сезон — дождевые и подземные, зимой — родники. Среднегодовой расход воды в 36 км от устья крупнейшей из рек Новой Москвы — Пахры невелик, составляет 10–11 м³/с (объем стока 0,314 км³/год) (Абрамович, 1946; Матвеев, 1961 и др.). По данным, приводимым Н.П. Матвеевым (1961), модуль годового стока реки у с. Макарово изменяется от 2,50 до 12 л/с км², при среднем значении 6,12 л/с км². Вода в реке поднимается до 6 м. На других реках, постоянных наблюдений не проводилось, и эти показатели значительно меньше, чем в Пахре.

В целом рельеф ТиНАО достаточно благоприятен для возведения здесь городских районов; опасные геолого-геоморфологические процессы, о которых шла речь выше, не представляют собой непреодолимых препятствий для строительства, особенно при применении современных технологий. Однако водных ресурсов региона как по их объему, так по качеству явно недостаточно для обеспечения планирующегося роста населения, которое, как предполагается, к 2035 г. будет не менее 1 миллиона человек.

На реках Новой Москвы с давних пор возводились запруды, вызывавшие подпор грунтовых вод; проводился дренаж заболоченных участков. Из каменоломен и карьеров добывались известняк, песок, гравий и галька. В настоящее время на берегах рек многочисленны населенные пункты, включая дачные поселки и садовые товарищества. Вмешательство человека в естественное развитие рек уменьшило их водность и транспортирующую способность. Особенно уменьшился вынос твердого материала за счет большого количества прудов. К росту аккумуляции в руслах также привело сведение лесов, вызвавшее увеличение твердого стока с полей и смыв с них удобрений, что, в свою очередь, активизировало развитие растительности в руслах и заболачивание поймы (Шварев и др., 2017).

Климатические изменения последних десятилетий вызвали рост местных водных ресурсов Московской области. В 1985–2005 гг. по сравнению с 1936–1984 гг. он составил почти 50% (Коронкевич, Мельник, 2015). Это связано также с ростом поверхностного стока со склонов, обусловленного увеличением урбанизированных площадей (Матвеев, 1961). С 1990 по 2009 г. количество загрязненных сточных вод снизилось в 1,4 раза, тем не менее вода многих водных объектов остается непригодной для питьевых целей (Коронкевич, Мельник, 2015). Так, в р. Пахре в начале текущего века минерализация воды возросла более чем в 1,5 раза (Рябышев, 1978). Загрязняют реч-

ные воды и свалки в старых карьерах. Критическими показателями по загрязненности аммонийным и нитратным азотом, легкоокисляемым органическим веществам отличаются р. Пахра и ее приток р. Рожая (Доклад о состоянии окружающей среды..., 2018).

Начиная с 30-х годов прошлого века в Москве и области, наряду с поверхностными водами, активно используются подземные. Возникли локальные депрессионные воронки, куда проникают загрязненные поверхностные воды (Бочевер и др., 1966). Подземный сток в Подмосковье за последние 50 лет сократился в 4 раза, и в ряде городов подземные воды стали непригодными для питья (Рукин, Балоян, 2016). Но общее снижение водоотбора с конца 1980-х гг. вызвало стабилизацию их уровней и в отдельных случаях повышение. Запасы подземных вод по Московской области оцениваются в 9658,3 тыс. м³/сут (Доклад о состоянии окружающей среды..., 2018).

Об антропогенной нагрузке на речные бассейны Новой Москвы можно приблизительно судить по количеству населения в их пределах. Надо подчеркнуть — это минимальная оценка, использующая доступные официальные данные о постоянно проживающих в данном регионе. Эти данные не учитывают временное население — дачников, членов садовых товариществ, отдыхающих в санаториях, а также строителей, за счет которых население региона возрастает, особенно сильно в теплое время года. Кроме того, пока невозможно определить количество воды, необходимое для планируемых промышленных предприятий.

Согласно официальным данным, в ТиНАО на момент присоединения проживало менее 250 тыс. человек. Численность и плотность населения в Новомосковском административном округе (площадь 361,4 км²) в 2019 г. оценивается, по различным источникам, от 235 тыс. человек (Население Москвы..., 2021; 12 точек роста Новой Москвы...) до почти 260 тыс. человек (Численность населения..., 2019), что отвечает плотности населения в 650–720 чел./км².

Площадь Троицкого округа — 1084,3 км². Население — около 125–127 тыс. человек (Население Москвы..., 2021; 12 точек роста Новой Москвы...; Численность населения..., 2019). Плотность населения 115–117 чел./км². В целом плотность населения в Новой Москве возросла с 173 до 260 чел./км², или в 1,5 раза.

Для оценки антропогенной нагрузки на бассейны мы подсчитали количество населения в них, используя официальные данные по

всем населенным пунктам, в них находящимся (Численность населения..., 2019; 12 точек роста Новой Москвы...) (рис. 4.4, цв. вкладка). Вычислив по крупномасштабным картам площади бассейнов (тех их частей, которые находятся в ТиНАО), легко узнать плотность населения в них — довольно информативного показателя, хотя и несколько заниженного, поскольку количество населения и антропогенная нагрузка не связаны прямой зависимостью: в больших населенных пунктах, как правило, находятся промышленные предприятия, значительно увеличивающие нагрузку.

В северной части Новой Москвы в бассейне правого притока р. Москвы — р. Сетуни на площади $\sim 67 \text{ км}^2$ проживает около 3 тыс. человек. Плотность населения $\sim 45 \text{ чел./км}^2$, несмотря на близость к старой Москве — ниже почти в 10 раз, чем в целом по Новомосковскому округу, поскольку здесь нет крупных населенных пунктов.

В Новой Москве находятся верхнее и среднее течение р. Пахры, низовья — в Московской области. Площадь бассейна реки в ТиНАО (без бассейнов ее основных притоков Мочи и Десны) $\sim 365 \text{ км}^2$. В 2019 г. в бассейне р. Пахры проживало более 80 тыс. человек (плотность населения $\sim 219 \text{ чел./км}^2$). За пределами Новой Москвы, но рядом с ее границей, у слияния рек Пахры и Десны, находится г. Подольск.

Десна — левый приток Пахры, почти вся, кроме своих верховьев, протекает по территории Новой Москвы. Площадь бассейна в ее пределах $\sim 430 \text{ км}^2$. На берегах Десны расположены г. Троицк (61 тыс. человек), большие пос. Коммунарка и Газопровод. Всего проживает около 290 тыс. человек, плотность населения $\sim 675 \text{ чел./км}^2$. На экологическое состояние реки негативно влияет г. Апрелевка, находящийся в ее верховьях — в Московской области. В бассейнах небольших левых притоков Десны — рек Незнайки и Ликовы проживает 74 тыс. человек (почти 370 чел./км^2), Сосенки — около 17 тыс. (190 чел./км^2).

Моча (правый приток Пахры) почти вся протекает по ТиНАО. В верховьях долина довольно узкая (первые сотни метров), в средней части расширяется до 2–3 км за счет развития надпойменных террас. В приустьевой части долина вновь сужается, врезааясь в известняки и доломиты. Площадь бассейна $\sim 385 \text{ км}^2$. В 2019 г. в бассейне реки проживало около 40,5 тыс. человек (плотность населения 105 чел./км^2).

Самый малонаселенный район Новой Москвы — ее юг. Реки района — левые притоки р. Оки: Лопасня, Черничка и др. маленькие речки. На площади $\sim 208 \text{ км}^2$ здесь проживало не более 4 тыс. человек. Плотность населения $\sim 19 \text{ чел./км}^2$.

Полученные данные позволяют оценить возможные сценарии в контексте взаимодействия растущих городских территорий и основных рек (Ковалев, Чалов, 2021) и отнести потенциальное развитие рек бассейна Десны к 4-му типу (антропогенное подавление эрозионного рельефа), бассейна Пахры — к 3-му типу (антропогенное подчинение эрозионного рельефа), бассейна Мочи — ко 2-му типу (соподчиненные), а бассейна Нары — к 1-му типу (населенные пункты, «вписанные» в эрозионный рельеф и подчиненные ему). Исходя из этих соотношений следует осуществлять мероприятия по развитию территории.

С 2012 г. плотность населения в Новой Москве возросла с 173 до 260 чел./км^2 , или в 1,5 раза. Не на меньшую величину выросла и антропогенная нагрузка на ландшафты, особенно в «точках роста» Новой Москвы — Внуково, Румянцево, Мосрентген, Коммунарка, Троицк, Рязаново, Киевский, Ярцево, Шапово, Вороново, Кленово, Рогово. Наибольшее антропогенное давление испытывает бассейн р. Десны, на берегах которой расположены г. Троицк и другие крупные населенные пункты; плотность населения в бассейне превышает 550 чел./км^2 . Усиление антропогенной нагрузки является причиной как активизации, так и затухания эрозионных и связанных с ними ряда других экзогенных процессов; продолжающегося роста оврагов и образования новых, особенно на склонах Теплостанской возвышенности, подмыва берегов по берегам Пахры, Десны и других рек и активизации оползневых процессов на крутых берегах рек (Аникина и др., 2013), а также в ряде случаев возобновлению или возникновению карстовых явлений в результате понижения уровня грунтовых вод. Но такое же усиление нагрузки вызвало заболачивание долин и прекращение стока в верховьях и даже в среднем течении большинства малых рек Новой Москвы. Водоснабжение будущих городских районов Новой Москвы не может осуществляться за счет небольших ресурсов местных поверхностных вод, к тому же непригодных для бытовых нужд. Для водоснабжения Новой Москвы нежелательно использовать ресурсы Москвы-реки ввиду их истощенности, а также вполне вероятного дальнейшего роста населения старой Москвы. Очевидно, что Новая Москва будет снабжаться в основном артезиан-

ской водой, ресурс которой уже обеднен (Шварев и др. 2017). Строительство напорных водопроводов от р. Оки довольно дорого в силу значительного перепада высот (около 40 м) и больших расстояний; к тому же вода в Оке также относится к категории «грязной» и нуждается в очистке. Население оказывает наибольшую нагрузку на бассейн р. Десны, что необходимо учитывать при планировании различных хозяйственных мероприятий на данной территории.

В заключение, надо отметить, что среди урбанизированных бассейнов нередки случаи, когда различные их части находятся на разных стадиях организованности. Уничтожить водосборный бассейн как часть земной поверхности, по которой воды стекают в реку или ручей, весьма сложно. Обычно это происходит в местах открытой добычи полезных ископаемых, таких, как огромные карьеры Курского железорудного бассейна. Достаточно типичны такие случаи при разработке россыпей, когда сток рек отводится в искусственные каналы либо фильтруется в отвалы горных пород (Dixon, Mote, 2003), что особенно характерно для горнодобывающих районов Сибири и Дальнего Востока. На территориях городов даже при современных строительных технологиях пока исчезают только бассейны некоторых ручьев и оврагов. На их месте возникают новые, небольшие техногенно-геоморфологические системы. И при сооружении крупных водохранилищ водосборный бассейн остается несмотря на то, что значительная его часть скрывается под водой. На территории г. Москвы таким примером является р. Химка в ее среднем течении, скрытая ныне водами Химкинского водохранилища.

Урбанизированная морфолитосистема гораздо сложнее, чем природная. Она оказывает значительное влияние на функционирование водосборных бассейнов на городской территории. В целом проходящие в геологической среде процессы способствуют созданию (возникновению) новой организованности системы водосборного бассейна.

Глава 5.
МОРФОЛИТОГЕНЕЗ НА БЕРЕГАХ
ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ
(НА ПРИМЕРЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛЖСКОГО КАСКАДА)

«Изменяя природу, человек изменяет самого себя».

К. Маркс

Маленькое отступление: где река Почайна? «Ее уж нет!» осталось одно лишь ложе этой реки, — овраг, который не далее как в 30 годах был диким и страшным, где ютились жулики; а теперь начало этого оврага и с огнем не отыщите: оно скрыто в подземных трубах, над которыми стоят дома; середина оврага тоже изменила свою прежнюю дикую физиономию; — ее пересекает Лыкова дамба. Устье оврага сделалось самым людным местом: здесь помещается толкучка и самый населенный квартал. Все обдывается, заделывается, приглаживается; везде искусство, рука человека; об овражищах осталось одно воспоминание. Таковы результаты деятельности человека — этого «заклятого и торжествующего изменителя лица природы!»

Из описания Нижнего Новгорода
в книге «Иллюстрированный спутник по Волге»
С. Монастырского (1884)

Приведенные выше цитаты и не относятся непосредственно к водохранилищам, которые появились в центре Европейской России намного позже, но они прекрасно иллюстрируют интенсивность воздействия человека на природную среду берегов крупнейшей европейской реки, которое имело место уже 150 лет назад. Создание крупных искусственных водоемов на суше — это знамение XX в., и оно сразу стало одним из ведущих факторов антропогенного морфолитогенеза. Водоохранилища многообразны по размерам, форме, типу образования, назначению и длительности существования. Уже в 80-х годах XX в. их количество превысило 30 тыс., общий объем — 6 тыс. км³, а площадь водного зеркала — 400 тыс. км² (Авакян и др., 1987). В начале XXI в. в мире уже насчитывалось более 60 тыс. водохранилищ, и тенденция к увеличению их числа и суммарной пло-

щади сохраняется. Только в России протяженность береговой линии водохранилищ составляет около 76 тыс. км, при этом 42 тыс. км из этих берегов — абразионные, т.е. находящиеся в состоянии активного преобразования (Зайцева, 2006).

С точки зрения изучения геоморфологических режимов при появлении искусственных водоемов обычно в первую очередь обращают внимание на переход крупных фрагментов суши в субаквальное положение, который с точки зрения геоморфологии в большинстве случаев означает резкую смену денудации на преобладание процессов соответствующей аккумуляции в пределах затопленной площади. Рельеф образующейся при этом береговой линии, а также тенденции его преобразования, как правило, поначалу не является приоритетом для научных исследований. Однако именно то, что происходит в береговой зоне, со временем чаще всего выходит на первый план и создает главные проблемы в эксплуатации водохранилищ. С одной стороны, на прибрежной территории происходит чисто механический подъем уровня грунтовых вод и ответная реакция почв по типу заболачивания со всеми вытекающими последствиями. С другой стороны, берега начинают резко меняться под действием геоморфологических процессов: либо разрушаться вследствие воздействия волн и течений и отступать, либо, наоборот, заливаться и зарастать, что приводит к превращению прибрежной акватории в болото. Все эти процессы имеют далеко идущие последствия, которые сказываются на всех компонентах природной среды, причем не только в береговой зоне, но и далеко за ее пределами. Тем не менее называть их антропогенными было бы несправедливо: несмотря на то что в происходящем повинен человек, это всего лишь реакция природы на изменившиеся условия, тем более что последующая трансформация берегов им не была запланирована.

Рассмотрим в качестве репрезентативного объекта для исследования процессов морфолитогенеза на берегах искусственных водоемов каскад из восьми волжских водохранилищ, располагающихся в центре Восточно-Европейской равнины. Созданные в 30–80-е годы XX в., они превратили русло Волги в цепь рукотворных озер на протяжении 3 тыс. км (из общей длины реки 3530 км). В настоящее время они занимают площадь около 40 тыс. км², общая длина образовавшейся при этом береговой линии составляет более 11 тыс. км (Копосов и др., 2013). Ширина береговой зоны волжских водохранилищ, т.е. совокупности образующихся под воздействием волн и под-

верженных им до сих пор форм рельефа: пляжа, абразионно-аккумулятивных форм и подводного склона, в настоящее время колеблется в зависимости от геоморфологических и гидродинамических условий от нескольких метров до нескольких десятков метров. Если к этой зоне добавить сферу спровоцированного абразией активного оползнеобразования, обвально-осыпных процессов и связанных с ними селевых потоков, то ширина всей зоны морфолитогенеза возрастает местами до 1–3 км. Таким образом, мы имеем область интенсивного рельефообразования, спровоцированного созданием водохранилищ, площадью в несколько тысяч квадратных километров. В результате переработки берегов суммарные потери земель по каскаду оценены в диапазоне 35–39 тыс. га, или 2,1% от площади затопленных земель (Копосов и др., 2013).

Как известно, водоемы суши — весьма недолговечные объекты. Им свойственно динамичное развитие, которое ведет к евтрофикации, угасанию и превращению в конечном итоге в заболоченное пространство. Искусственные озера проходят те же стадии развития, что и естественные; в полной мере это относится и к их берегам, если, конечно, отсутствует прямое и длительное вмешательство человека в процесс их преобразования. На первой, олиготрофной стадии развития контуры водохранилища сохраняют изначальные очертания, которые были продиктованы топографией местности. То же можно сказать и о поперечном профиле береговой зоны: следует отметить, что рельеф представляет собой весьма инертное образование, и в случае сложения прочными горными породами берега могут сохранять первоначальный облик в течение десятилетий. Однако это относится преимущественно к горным регионам. На равнине, которая слагается легко размываемыми горными породами, процессы евтрофикации, в том числе и трансформации берегов, протекают чрезвычайно быстро. Расчет С.Л. Вендрова, произведенный еще в 1960-е годы, показал, что в первые годы существования волжских водохранилищ на их берегах ежегодно вовлекалось в движение около 30 млн м³ горных пород (Вендров, 1968).

К сожалению, оптимистичный прогноз по быстрой — в течение 10–15 лет — стабилизации ситуации с процессами на берегах водохранилищ Волжского каскада, который преобладал в умах исследователей и проектировщиков в 50–70-е годы XX в. (Зубенко, 1962; Волга и ее жизнь, 1978; Алексеев, 1987), в полной мере не оправдался. Наряду с замедлением и даже прекращением разрушения берегов на одних

участках наблюдается продолжение и даже активизация процессов на других. Современные исследования показали, что в настоящее время объем перемешаемых масс сохраняется примерно на том же уровне, что и ранее (Дебольский, 2000; Экологические проблемы..., 2001; Куйбышевское водохранилище, 2004; Законнов, 2005; Коронкевич и др., 2005; Резчикова, 2005; Хабидов и др., 2014; Никонорова, 2016 и др.), хотя есть мнения, что он даже увеличился и превышает 40 млн м³ (Копосов и др., 2013). Разобраться, насколько справедливо обвинение человека в происходящих на берегах волжских водохранилищ изменениях и какова в них антропогенная составляющая, — непростая задача. Тем более что постоянно оказывается прямое воздействие хозяйственной деятельности на ход процессов: ведь протяженность берегов водохранилищ Волжского каскада в пределах населенных пунктов составляет 980,5 км, в том числе в пределах крупных городов — 442 км (Дебольский, 2000).

Следует, однако, отметить, что в последнее время, а именно начиная с 90-х годов XX столетия, интерес к процессам на берегах волжских водохранилищ резко снижается. Прекращаются комплексные, в том числе мониторинговые, исследования, в открытую печать более не поступают крупные обобщения. В первые два десятилетия XXI в. нами были проведены полевые наблюдения за состоянием берегов и характером происходящих на них геоморфологических процессов большинства (за исключением Ивановского) водохранилищ Волжского каскада. Они зафиксировали чрезвычайно пеструю картину современного морфолитогенеза в береговой зоне и позволили сделать некоторые предварительные выводы относительно основных тенденций ее развития (Буланов, 2018). Показательно, что в результате длительного и по большей части спонтанного преобразования берегов водохранилищ на первое место стали выходить гидродинамические условия самих водоемов, которые диктуют и стиль, и скорость процессов (рис. 5.1, цв. вкладка).

Еще в 50–70-е годы XX в. была предложена классификация берегов крупных водохранилищ с делением на процессы преимущественно флювиального (руслового), волнового и переходного типов (Вендров и др., 1972; Матарзин, Новосельский, 1983; Эдельштейн, 1988), которая была подтверждена и развита в начале XXI в. (Хабидов и др., 2014). Для переходного типа применительно к верховолжским водохранилищам И.К. Акимовым применялось понятие «берега нейтральные», т.е. слабо изменяемые волновыми процессами

(Гидрометеорологический режим..., 1975). Однако для Волжского каскада представляется целесообразным уточнить ее, учитывая не только гидродинамические условия акватории, но и геоморфологические особенности того или иного участка искусственного водоема. Прежде всего, это касается положения в рельефе долины Волги его береговой линии: какие элементы и формы ее оказались затопленными, а какие подвергаются непосредственному воздействию волн и течений (Буланов, 2019). Мы выделили также в отдельный тип акватории заливов, поскольку, как правило, они характеризуются специфическим гидрологическим режимом и своеобразием развития берегов. Сообразно этому было предложено районирование акваторий. Далее будет дано описание берегов водохранилищ и процессов, на них происходящих.

Трансформация берегов при разных типах гидродинамики акватории водохранилищ

1. Верхний (флювиальный) участок выделяется по морфологическим признакам и по преимущественно флювиальному режиму гидродинамики. Специфика Волжского каскада заключается в том, что зона подпора водохранилища, как правило, распространяется вплоть до нижнего бьефа выше расположенной плотины, и это позволяет поддерживать необходимые для судоходства глубины на всем протяжении каскада¹. На этом участке акватория водохранилища большую часть года сохраняет облик реки в ее естественном состоянии во время паводка или низкого половодья: она имеет вид широкого канала и ограничена поймой с четко выраженными уступами. Только весной, во время сброса из верхнего бьефа, вода, как и прежде, может выходить на пойму: высота подъема над НПУ² ниже плотины может достигать 3–8 м³. Наиболее заметны изменения в устьях притоков, которые подтоплены на расстояние от нескольких

¹ Исключение составляют Ивановское и Чебоксарское водохранилища. Первое — по причине самого верхнего положения в каскаде: подпор по Волге прослеживается несколько выше г. Твери. Второе не заполнено на 5,5 м до проектной отметки, из-за чего участок Волги между Горьковской ГЭС и Нижним Новгородом на расстоянии порядка 80 км сохранился в естественном русле.

² НПУ — нормальный подпорный уровень.

³ Для сравнения: высота половодья до постройки плотин в среднем и отчасти нижнем течении Волги составляла 12–15 м.

сотен метров до нескольких километров. Геоморфологические процессы на верхнем участке следует характеризовать как флювиальные: они определяются поведением руслового потока. Пойма регулярно заливается паводками, хотя высота половодья существенно меньше, чем до постройки плотины, в 2–3 раза. Соответственно эпизодически наблюдается аккумуляция и эрозия на пойме и продолжается формирование ее микрорельефа.

Гидрологический режим в водохранилище непосредственно ниже плотины тем не менее имеет еще ряд отличий от естественного руслового. Во-первых, искусственная преграда более не пропускает влекомые и взвешенные наносы, и энергия водного потока практически полностью расходуется на глубинную эрозию. Во-вторых, попуски воды через плотину контролируются человеком не только во время прохождения половодья. Они производятся с разной целью, в разных объемах, с разной продолжительностью и периодичностью. Колебания уровня при этом даже в течение суток могут достигать нескольких метров. Отсюда происходит активизация глубинной и боковой эрозии. Последняя воздействует на берега в расширенном диапазоне высот поперечного профиля и формирует характерную для верхнего участка водохранилища микроступенчатость его склонов (рис. 5.2, цв. вкладка).

Несколько ниже плотины, там, где поток насыщается наносами, отмечаются аккумулятивные формы — как на берегах, так и в русле. Можно видеть широкие пляжи и осередки, типичные для равнинных рек, которые активно переформируются во время паводков.

На верхнем участке также следует отметить оригинальный процесс экзарации, связанный с весенним, реже — осенним ледоходом. В первую очередь он выражается в подкапывании и обрушении льдинами прибрежной древесно-кустарниковой растительности и ее перемещении вниз по течению. Наблюдались также следы непосредственного выпаживания льдинами прирусловых откосов. Следует, однако, отметить, что это воздействие существенно меньше того, что наблюдалось до создания водохранилищ, когда огромные массы льда буквально сносили все на своем пути до высоты 12–15 м над меженным уровнем реки (рис. 5.3).

2. Участок «залитой поймы» (переходный). Располагается ниже верхнего и характеризуется постоянным выходом воды на пойму с ее затоплением, которое меняется вниз по течению от частичного и периодического до длительного или почти постоянного. Водохрани-



Рис. 5.3. Берега Волги в начале XX в. ниже Саратова, обработанные льдом во время половодья. Фото М. Дмитриева

лища на этом участке напоминают долину Волги во время половодья до возведения плотин. Акватория расширяется до нескольких километров, появляются многочисленные острова, разделенные протоками (рис. 5.4, цв. вкладка). Береговая линия чрезвычайно извилистая ещё из-за обилия заливов в устьях притоков⁴. На этом участке наблюдается довольно пестрая картина геоморфологических процессов. Здесь еще сохраняется слабое влияние попусков воды из плотины и эрозионно-аккумулятивная деятельность главного потока. Вниз по течению эрозия постепенно сходит на нет, а аккумуляция сосредотачивается на пойме в виде отложения наилка и растительного детрита, количество которого также существенно меньше того, что откладывался при «свободном» режиме реки.

С другой стороны, ширина водоема еще не настолько велика, чтобы могло развиваться сильное волнение. Абразия имеет место, но заметно воздействует только на ограниченных участках, как правило, напротив широких заливов — на месте бывших устьев притоков. Есть примеры отступления берега в первые годы существования

⁴ Некоторые заливы не уступают по размерам основной акватории (Шошинский на Ивановском водохранилище, Костромской на Горьковском, Черемшанский на Куйбышевском и т.д.).

водохранилищ на 20–40 м, но в большинстве случаев оно не превышало 10 м. В настоящее время состояние этих участков стабилизировалось. Интересный момент: именно на участках «залитой поймы» наиболее ощутимо воздействие техногенных волн, возбуждаемых проходящими судами: здесь они еще могут «конкурировать» с ветровыми. Особенно это заметно там, где фарватер — а он, как правило, наследует затопленное русло — проходит близко от берега.

Есть примеры оползания и обвально-осыпного обрушения на невысоких, отчасти зарастающих клифах, но они не приводят к таким же катастрофическим последствиям, что наблюдаются в расширенных, плёсовых участках водохранилищ. Размыву берегов препятствует также наличие обширных зарастающих мелководий с тенденцией к заболачиванию.

Немаловажно, что на всех водохранилищах Волжского каскада эти участки наиболее привлекательны с точки зрения селитебных качеств, хозяйственного использования и рекреации. Большинство населенных пунктов, существовавших до возведения плотин, на этих участках избежали полного затопления и получили дополнительный импульс к развитию вследствие выгодного положения на берегу крупного водоема. Жилые постройки в настоящее время располагаются непосредственно у воды, и им, как правило, не угрожает разрушение в ближайшей перспективе. Берега также интенсивно застраиваются дачными поселками, учреждениями рекреационного профиля и сооружениями иного назначения. В этом отношении показательны участки Чебоксарского водохранилища выше Васильсурска, Саратовского — в районе Самары и Волгоградского — в районе Саратова.

3. Плёсы. Там, где водохранилища выходят за пределы поймы, расстояние между берегами достигает 5 км и более; образуются крупные озеровидные их участки, или плёсы⁵. Вода выходит на террасы, которые на левобережье Волги достигают значительной ширины. Именно плёсы составляют основную площадь водохранилищ, в них же сосредоточена и основная водная масса (рис. 5.1 и 5.5, цв. вкладка). Гидродинамическая обстановка в широких плёсах принципиально иная, чем в вышеописанных относительно узких участках водохранилищ. На первое место на плёсах выходят про-

⁵ Исключение составляет Угличское водохранилище, на котором плёсы отсутствуют по причине невысокого подъема воды плотиной и узкой, каналобразной формы долины.

цессы, связанные с ветровыми волнами, которые в условиях большого разгона достигают высоты в несколько метров. Сила волнения на крупнейших рыбинском или камско-устыинском (Куйбышевское водохранилище) плёсах, ширина которых превышает 40 км, волны поднимаются до 3—4 м, что опасно не только для маломерных судов, но и для среднетоннажных, отчего судоходство в этот период прекращается.

Исходная морфология и литологический состав пород благоприятствуют интенсивному развитию абразии на берегах плёсов практически повсеместно, несмотря на разнообразие рельефа затопленной долины и пестрый петрографический состав слагающих ее пород. Широко известен феномен отчетливо выраженной асимметрии долины Волги, который связан с законом Бэра — Бабине, согласно которому русло реки сместилось за последние 3 млн лет (на участке от Нижнего Новгорода до Волгограда) с востока на запад от 6 до 120 км (см. рис. 5.1 и 5.5, цв. вкладка). Соответственно правобережье на всем протяжении Приволжской возвышенности высокое и крутосклонное. Оно сложено породами платформенного чехла Восточно-Европейской платформы в стратиграфическом диапазоне — от карбона до неогена. Следует отметить, что они весьма разнообразны по степени устойчивости к внешним воздействиям, прежде всего к абразии.

Наиболее устойчивы **известняки и доломиты палеозоя** (Средняя Волга, 1991), которые обнажаются в районе Казани и в Жигулях. Они образуют высокие и крутые склоны, отступление которых в настоящее время почти незаметно. Немного уступают им в прочности **мел, мергели, песчаники и опоки мезозоя**, которые часто занимают на склонах лишь верхние и средние позиции, отчего могут участвовать в сложении оползневых блоков, смещенных по нижележащим пластичным слоям. В случае если ими слагается весь склон — от бровки до подножия образуются крутые обрывы, вплоть до отвесных (рис. 5.6, цв. вкладка). Однако разрушение их идет довольно интенсивно, сопровождается обвалами и селевыми выбросами.

Следующими по устойчивости к абразии можно обозначить **пестроцветные глины и мергели с прослоями известняков и песчаников верхней перми**, которые распространены на отрезке правобережья от Нижнего Новгорода до Тетюшей в Татарстане. Морфология слагаемых ими склонов, равно как и процессы, весьма разнообразны. Встречаются крутые высокие обрывы обвального-осыпного харак-

тера, как, например, в районе Камского Устья, но чаще они подвержены оползанию, местами опасного и даже катастрофического размера (рис. 5.7, цв. вкладка). Характерны также экзотектонические складки, образовавшиеся путем выжимания пластичных пород изпод междуречий в сторону речных долин вследствие неравномерной статической нагрузки (Дедков, Бастраков, 1967).

Наиболее податливы на правобережье *глины верхней юры и нижнего мела*, что имеют широкое распространение в Ульяновской области. Именно на этом участке произошло максимальное сдвигание на запад долины Волги — на 120 км — в плиоплейстоцене, и теперь оно продолжается — также с повышенной скоростью, — только уже с помощью абразии. Здесь до сих пор идут интенсивные обвалы и оползни, которые сопровождаются оврагообразованием и селями. Местами полоса правобережья, охваченная активизированными древними оползнями, достигает ширины 1,5–2 км и более, как, например, к югу от Ульяновска (Рогозин, 1961; Баранова, 1975; Куйбышевское водохранилище, 2004). Абразия на таких участках не успевает справиться с их продвижением, в результате мы наблюдаем наступление суши на акваторию водохранилища.

Особо следует выделить как наиболее опасные для действия абразии берега, сложенные *гипсоносными породами*, в основном на правобережье Куйбышевского водохранилища между Печищами (напротив Казани) и Тетюшами (Камское устье). Гипс — хорошо растворимая порода, поэтому не дает, как другие, обломочного материала, который, отлагаясь, хотя бы временно мог защитить берег от волн. Более того, местами гипс залегает ниже уреза, и это может провоцировать возникновение новых приглубых участков берега и тем самым усилить разрушительную деятельность волн.

Примерно такой же слабой сопротивляемостью размыву обладают *четвертичные отложения*, которые на правобережье редко выходят к воде, главным образом по долинам притоков и балкам, либо это современные аккумулятивные образования, возникшие уже на берегах водохранилищ. Но основной массив рыхлых молодых осадков, преимущественно аллювиального генезиса, приурочен к левобережью. Оно, напротив, низменное, отчетливо террасированное⁶.

⁶ Исключения составляют берега Горьковского водохранилища в районе Рыбинска, Костромы и Плёса, а также небольшой участок левобережья выше Самары — Соколы горы, которые являются естественным продолжением Жигулевской возвышенности.

В строении террас преобладает рыхлый плейстоценовый песчаный и супесчаный материал, широко распространен чехол лессовидных суглинков.

Абразионное разрушение левобережья в пределах плёсов идет до сих пор чрезвычайно быстро: на Куйбышевском водохранилище береговая линия ежегодно отступает на 0,5–3 м. К началу 1980-х гг. вокруг него только из сельхозоборота выбыло свыше 1500 га земель, а с берегов в водоем за 1957–1980 гг. поступило 584 млн м³ горных пород или в среднем 24 млн м³ в год (Ступишин и др., 1981). На Саратовском и Волгоградском водохранилищах берега отступают местами до нескольких метров в год, в Духовницком районе в отдельные годы — до 8 м береговой полосы. Всего же за первые 40 лет в Саратовской области было уничтожено 1,6 тыс. га сельскохозяйственных земель (Куйбышевское водохранилище, 2004). В первые годы наблюдалось смещение береговой линии в сторону суши до 25 м и более (Копосов и др., 2013). Высокие скорости обусловлены еще и тем, что обрушенный песчаный и суглинистый материал не задерживается на берегу: он быстро уносится волнами и течениями вдоль берега и на глубину и не препятствует волноприбойной деятельности (рис. 5.8, цв. вкладка).

На Горьковском водохранилище наибольшее смещение берегового уступа левобережья — до 70 м — наблюдалось в первое десятилетие его эксплуатации (1957–1967), в настоящее время — 0,1–0,5 м/год. Интенсивность отступления абразионных берегов правобережья, сложенного верхнепермскими отложениями, существенно меньше. Однако при протяженности абразионных берегов 631 км потеря земель составляет 6,3–29,7 га/год. На Чебоксарском — средние скорости отступления составили 0,2–1,2 м/год, потери земель — 176 га. В случае подъема уровня водохранилища на 5,6 м до проектной отметки абразия усилится: на правобережье — до 2,5 м/год, а на песчаном левобережье — до 2,8 м/год; риск потери земель за 10 лет может составить более тысячи га (Соболь, Хохлов, 2012).

Если рассматривать происходящее в историческом аспекте, то можно сказать, что абразия на правобережье водохранилищ как бы приняла эстафету по активизации оползней, обвалов и осыпей от предшествующей ей боковой эрозии Волги (Бутаков, 1970). Об этом можно судить также и по работам известных исследователей геологии Поволжья: А.П. Павлов (1903), Е.В. Милановский (1935) и др. На противоположной, левобережной стороне наоборот: вместо акку-

муляции преобладающим процессом стало интенсивное разрушение берегов, особенно на водохранилищах средней и нижней Волги (Гидрометеорологический режим, 1978).

Поступающие с оползнями и обвалами массы горных пород у подножия уступов истираются волнами и превращаются в исходные глины, илы и песок; либо растворяются, как это происходит с гипсами. Судьба их — быть унесенными от берега и отложенными на дне водохранилищ, в результате чего происходит обмеление и заиливание водоема (Законнов, 2005). Вдоль берегов, преимущественно левых, протягивается широкая — в несколько десятков, а местами и сотен метров — полоса мелководий до 1–2 м глубиной. Отчасти она представляет собой абразионную платформу — бенч, но по мере удаления от берега — это уже аккумулятивное образование, сложенное принесенным обломочным материалом.

Там, где берега сложены более прочными породами, относительно крупные обломки, что поступают с обвалами к подножию, окатываются, превращаются в гравий и гальку, реже валуны, а затем переносятся вдольбереговыми течениями и аккумуляруются в основном в заливах, образованных в устьях притоков Волги. Они отлагаются там в виде баров, кос, пересыпей; хотя есть примеры образования в волновой тени форм типа переймы на абразионных берегах, причем часто за искусственными препятствиями (рис. 5.9, цв. вкладка).

Интересна конфигурация береговой линии плёсов волжских водохранилищ: для нее типично спрямление в результате срезания мысов и отгораживания пересыпями мелких заливов, которое приводит к формированию полого выгнутых в сторону суши дуг. Это свидетельствует, что преобразование берегов плёсов зашло далеко и местами достигло равновесного состояния, при котором отступление берегов идет равномерно на протяжении всей дуги (Назаров и др., 2011).

Плёсы являются наименее привлекательной с точки зрения прибрежной жизни и хозяйствования частью искусственного водоема. Из-за волнения они также наиболее опасны для судоходства. Абразия приводит к энергичному отступанию берегов, при этом ежегодно уничтожаются сотни гектаров плодородных земель, попадают под угрозу обрушения постройки и транспортная инфраструктура (рис. 5.10, цв. вкладка). Человек вынужден переносить здания на десятки и сотни метров от бровки уступа. Транспортная сеть оказывается разорванной на десятки километров не только самими плёсами,

но и многочисленными заливами водохранилищ⁷. Не компенсируют потери местное судоходство и паромные переправы. В условиях сильного волнения и интенсивной переработки берегов установка и эксплуатация пристаней чрезвычайно затруднена, и от некоторых из них в последнее время пришлось отказаться. Сами берега в большинстве мест оказываются опасны и труднодоступны для рекреантов и рыбаков из-за нависающих над ними высоких крутых обрывов, особенно на правобережье.

4. Заливы. В состав водохранилищ входит множество заливов, которые являются затопленными приустьевыми участками притоков Волги. Размеры их варьируют в широких пределах — от нескольких гектар до нескольких сот км². Крупнейшие из них сопоставимы с плёсами: например, Шошинский на Ивановском или Черемшанский на Куйбышевском водохранилище. Заливы более характерны для левобережья, поскольку с него Волга получает большинство притоков, а также из-за того, что вследствие низменного рельефа оно больше подверглось затоплению. Водообмен в заливах, как правило, замедлен по сравнению с основной акваторией водохранилища⁸. Показательно, что абразия на них распространена мало по причине преобладающей мелководности у берегов, которые интенсивно зарастают и заболачиваются. Вследствие этого в заливах преобладает аккумуляция, причем имеется четыре источника поступления материала: твердый сток притоков; наносы, влекаемые вдольбереговыми потоками из основной акватории (рис. 5.11); биогенные осадки, которые образуются в самом заливе в результате его зарастания и евтрофикации и, наконец, массы пород, обрушивающиеся с берегов. Многие заливы, в основном малых размеров, за время существования водохранилищ были отшнурованы (отделены) пересыпями от главной акватории и превратились в самостоятельные водоемы. Некоторые из них целиком заполнены наносами и превратились в заболоченные низины.

⁷ Всего два моста пересекают один из плёсов в районе Ульяновска (Саратовское водохранилище); еще один строится в окрестностях Тольятти через Куйбышевское водохранилище. Больше транспортных переходов через плёсы нет.

⁸ Исключение составляют заливы в устьях крупных притоков. На Каме и Шексне также возведены плотины, поскольку они входят в состав глубоководных путей. В них также выделяются участки верхней и «залитой поймы», которые имеют аналогичную основной акватории гидродинамику. Нечто похожее наблюдается и в устьях Унжи, Суры, Свияги и некоторых других рек, но их сток не зарегулирован и потому отсутствуют препятствия для поступления обломочного материала.

Использование заливов многообразно. По ним осуществляется судоходство, в них устраиваются причалы и предприятия по ремонту судов. Они удобны для проведения учебных и спортивных мероприятий водников. Важное их назначение — служить убежищами для судов, застигнутых в плёсах во время шторма.

Очевидно, что появление искусственного водоема приводит к коренной перестройке морфолитогенеза и в пределах самой акватории, и на территории ее ближайшего окружения. Прежде всего происходит активизация лимногенных процессов — как в субаквальном, так и в субаэральном выражении, которые принципиально отличаются от предшествующей геоморфологической обстановки. Все это сопровождается переработкой вновь появившихся берегов в том же стиле, что и на озерах естественного происхождения. Тем не менее у водохранилищ Волжского каскада имеется ряд отличий, которые связаны: а) с «молодостью» искусственного водоема, б) со специфической затопленной формы рельефа — речной долины и в) с интенсивным природопользованием на его берегах (от водоснабжения и транспорта до рекреации).

С «молодостью» в первую очередь связана чрезвычайная активность переработки береговой зоны, конкретно абразией, которая, как это видно на примере Волжского каскада, в первые десятилетия может вызвать отступление берегов на несколько десятков метров в год и соответственно не менее интенсивное отложение наносов в глубоководных частях акватории и в виде заиления заливов. Фактически стадия активной переработки на большинстве рассмотренных водохранилищ еще не закончилась, и это одно из принципиально важных обстоятельств, на которое следует обратить первостепенное внимание при планировании различных хозяйственных мероприятий.

Что же касается геоморфологических *особенностей* *заполненной водой формы*, то здесь на первое место выходит разноуровенность заполнения долины и разница в ширине создаваемого водоема и связанное с этим разнообразие гидродинамического режима. В верхней части водохранилища, где подтопление и расширение еще незначительно, сохраняется флювиальный режим: переформирование берегов и островов идет преимущественно русловыми процессами, хотя интенсивность их существенно ниже, чем до заполнения водохранилища. Неровности полузатопленных поймы и террас выражаются в появлении островов и полуостровов, которые наиболее харак-

терны для участков с переходной гидродинамикой. Не менее важно также расчленение берегов долинами притоков, что, в свою очередь, обуславливает размеры и конфигурацию заливов.

Третьим важным отличием водохранилищ Волжского каскада является активное природопользование и чрезвычайно разнообразная антропогенная нагрузка и на водоемы, и на окружающие их территории. Водоохранилища относятся к типу управляемых гидрогенных морфолитосистем, где осуществляется жесткий контроль гидрологического режима водохранилищ, который выражается в колебании их уровней, в том числе суточных, что несвойственно естественным внутренним водоемам и что роднит их с океанской акваторией, подверженной приливам. Разумеется, что проводятся и берегоукрепительные мероприятия, причем с разным успехом и с разными последствиями.

Глава 6. ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕЧНОЙ СЕТИ

«...река во всякой стране является как бы выражением живого синтеза, всей совокупности физико-географических условий: и климата, и почвы, и рельефа земной поверхности, и геологического строения данной области».

Лев Мечников (1889)

В 1889 г. в Париже вышла в свет книга Льва Ильича Мечникова (1838–1888) «Цивилизация и великие исторические реки» (*La Civilisation et les grands fleuves historiques*) — географическая теория прогресса и социального развития. Книга не утратила своего значения для развития географии (геополитической, социальной и этнокультурной), так как Л. Мечников изложил свои философские взгляды на окружающую среду и ее влияние на формирование общества с социально-антропологических позиций. Его географическая теория прогресса и социального развития признает, что различная степень цивилизации у различных народов обуславливается влиянием «среды» (Мечников, 1995, с. 271). Книга многоплановая и в какой-то мере противоречивая, но дает «пищу» пытливым умам. Как физикогеографам и геоэкологам, нам понятна и близка позиция Л. Мечникова о том, что важную роль в формировании цивилизации играют реки, содействуют зарождению цивилизации, объясняют ее неравномерное распределение на Земле, равно как и само направление общественного прогресса: когда *«та же самая река, которая составляет необходимое препятствие для некультурного народа, становится средством сообщения у народа культурного»* (Мечников, 1995, с. 323).

Особую роль в международных отношениях играют транзитные реки, являющиеся рубежами — границами между государствами, не только разделяют, но и объединяют страны с различными социальными, экономическими и экологическими подходами к землепользованию.

Прогрессом в осуществлении международных связей были (и остаются) гидротехнические сооружения — каналы, связывающие бассейны разных рек и народы, населяющие эти бассейны. Формирование пространственной структуры государства Российского во многом определили водные пути.

Великий Валдайский водораздел — историко-культурный перекресток

В Древней Руси основными путями сообщения были реки и озера. Их роль в этом качестве была predetermined геолого-географическим строением европейской части страны. С бескрайней равнины, лишь в середине приподнятой Валдайской возвышенности (иногда ее называют Волжской), берут начало многие реки, впадающие в Каспийское, Черное, Балтийское и Белое моря.

Географы называют эту территорию Главным водоразделом Русской равнины — *Великий водораздел Каспийского, Черного и Балтийского морей*. История его освоения показывает, что только на Валдайской возвышенности сходятся воедино три огромных культурных мира. Здесь встречались народы лесной Европы (через Западную Двину), Причерноморья и Восточного Средиземноморья (через Днепр), различных регионов Восточной Европы и Азии (через Волгу).

Западная Двина — одна из крупнейших рек, впадающих с востока в Балтийское море. Через нее Великий водораздел связан со Скандинавией, польскими и германскими землями, Центральной Европой. Так что Западная Двина приводила на Валдайскую возвышенность культурный мир лесной зоны Европы. Этот маршрут известен и ныне как путь *«из варяг в греки»*.

Днепр при движении на юг пересекает три природные зоны. Через проливы Босфор и Дарданеллы этот путь ведет в Средиземноморье. С Днепра был возможен переход на другую торговую артерию Восточной Руси — Волгу. Здесь пользовались волоками с верховьев Днепра на верховья Волги или с Днепра на Угру, приток Оки, и по Оке — на Волгу. Верхняя Волга и Ока были основными транспортными магистралями Владимирского, Суздальского, Рязанского княжеств. Расширение и укрепление Московского государства в XVI в., завоевание Казани в 1552 г. и Астрахани в 1556 г. сделало Волгу общеевропейской «дорогой» «Восток — Запад».

Волга своими низовьями уходит в степной коридор между Уральскими горами и Каспийским морем. С глубокой древности он был столбовой дорогой великих переселений. Восточное побережье Каспия служило путем передвижения на север из Средней Азии. По западному берегу Каспия проходили народы с Кавказа, Иранского нагорья и Индостана. Своим мощным левым притоком — Камой Волга втягивала в зону влияния финноугров Приуралья и даже Зауралья. Последнее было

связано с Валдаем и другим путем. Через низовья Оби, Печору, Вычегду и Сухону переселения шли в бассейн Волги — на Шексну, Мологу и Тверцу, затем на верхнюю Мсту и в Селигерский озерный край.

Великий водораздел оказался распахнутым на все стороны света. Он стал одним из главных речных перекрестков Евразии и одним из важнейших внутренних водных узлов континента. Благоприятные природные условия способствовали постоянным экономическим и культурным контактам. Естественные водные пути и связующие их волоки в XVII—XIX вв. были преобразованы в рукотворные водные системы. Характерными примерами таких путей являются Северо-Двинский, Мариинский, Тихвинский и Вышневолоцкий исторические водные пути — озерно-речные системы, соединенные каналами, с сохранившимися на них гидротехническими памятниками (Рельеф среды..., 2002; Широкова и др., 2011)..

Исторические водные магистрали — маршруты международного сотрудничества

Большое развитие внутренний водный транспорт получил в царствование Петра I. Для обеспечения экономических связей с районами Балтийского, Азовского и Черного морей совершенствовались водные пути и строились суда, отвечающие новым условиям. Выход к Балтийскому морю и перенос столицы из Москвы к берегам Финского залива потребовали улучшения водного сообщения от Волги до Балтики с таким расчетом, чтобы суда следовали без перевалки грузов в верховьях рек.

Своеобразной вехой в судьбе водных путей стал XVIII в. Именно тогда водные магистрали составили наиболее развитую и специфическую часть транспортной системы Европейской России, функционирование которой было направлено прежде всего на обслуживание новой столицы на Неве и главного морского порта — Петербурга.

Вышневолоцкой водной системе (далее ВВС) — первому искусственному водному пути в России в 2003 г. исполнилось 300 лет. Система соединила Балтику с Каспием и на ней был сооружен первый судоходный шлюз и осуществлены многие оригинальные конструкции Ю послужившие образцом для работы последующих поколений русских гидротехников (Зигерт, 2002; Плечко, 2019).

Основу водных систем составил бассейн р. Невы — озера Ильмень, Онежское, Ладожское, реки Свирь, Нева, Сясь, Волхов, их судоходные

и сплавные притоки. В этом сложном комплексе озерно-речных коммуникаций необычайно большим объемом перевозок и в то же время тяжелейшими судоходными условиями выделялся Вышневолоцкий водный путь (от Рыбной слободы на Волге через соединительный канал между бассейном Волги и Балтийского моря в районе Вышнего Волочка, по Мсте, Ильменю, Волхову, Ладожскому озеру, Неве) — главная водная дорога на Балтику из внутренних районов страны. Основные направления этого пути проходили через Новгородскую губернию.

На протяжении всего XVIII столетия Вышневолоцкую водную систему дополняли два старинных водно-волоковых пути. Первый проходил по системам рек Молога — Чагодоша — Тихвинка — Сясь — Ладожское озеро. Маршрут второго пути: Шексна — Белое озеро — Вытегра — Онежское озеро — Свирь — Ладожское озеро. В начале XIX в. они превратились в известные водные магистрали — Тихвинскую (далее — ТВС) и Мариинскую (далее — МВС — будущая Волго-Балтийская водная система) водные системы, соединившие Санкт-Петербург с Волгой — самой важной дорогой России. Созданная по указу Петра I, усовершенствованная стараниями и талантами М.И. Сердюкова, Я.Е. Сиверса и О.И. Корицкого, ВВС была для своего времени практически совершенной. Современники считали ее таковой даже еще в середине XIX в.

В 1811 г. завершилось создание ТВС и был открыт путь по Мологе и Тихвинке. ТВС — важнейший исторический водный путь, по которому шло заселение и освоение Русского Севера. С древних времен здесь существовал торговый путь с Волги в Прионежье и Балтику. Через водораздел, разделявший реки Балтийского ската и реки Волжского склона, длительное время использовался сухопутный путь по волоку. В 1811 г. было закончено задуманное еще Петром I строительство Тихвинского соединительного канала и ряда шлюзов на многих реках и начато движение судов по этой системе. С Волги путь шел по Мологе до устья Чагодоши (248 км), по Чагодоше и Чагоде до устья Горюна (167 км), по Горюну (13 км), озеру Вожанское (3 км), реке Соминке (32 км, 8 шлюзов), озеру Сомино (1 км), реке Волчина (10 км, 3 шлюза) — это волжский отрезок системы, затем на водоразделе по Тихвинскому каналу, пересекающему озера Крупино и Лебедино (6,3 км), и далее путь пролегал по рекам Балтийского ската: реке Тихвинка (158 км, 48 шлюзов), протекающей через озера Еглино (2,6 км) и Озерское (5,2 км), реке Сясь, от устья Тихвинки до с. Сясьские Рядки (96 км. Здесь путь шел уже по Старосясьскому каналу (11 км), Старо-

ладожскому каналу (112 км) и Неве (74 км). По сравнению с соседними — МВС (1143 км) и ВВС (1440 км) — ТВС обладала рядом преимуществ: во-первых, это самый короткий путь от Рыбинска до Петербурга (924 км) и, во-вторых, судоходство по ТВС шло в обе стороны. Недостатком системы была маловодность ее рек, в результате чего применялись только небольшие среднемерные суда. Просуществовала ТВС до середины XX в. В настоящее время сооружения системы, в том числе шлюзы, разрушены. Водораздельная часть, включая соединительный канал, по воде непроходима. Важно, что при строительстве ТВС использовались ландшафтные особенности окружающей местности и учитывались требования рационального природопользования. Система осуществляла регулирование местного стока воды, что обеспечивало сохранение природных ресурсов Тихвинки, ее притоков и водораздельных озер (Озерова, Собисевич, 2012).

Мариинская водная система протяженностью 1125 км вступила в строй в 1810 г. и предназначалась в первую очередь для снабжения Петербурга продовольствием, древесиной и т.п. МВС также представляла собой ряд естественных и искусственно созданных водоемов, соединивших Каспийское и Балтийское моря. Строительные работы по созданию ее начались в 1799 г. Часть денег на сооружение канала выделила императрица Мария Федоровна, поэтому систему и назвали Мариинской. Изыскательские работы были начаты еще при Петре I в 1710 г., а сквозное движение судов было открыто лишь в 1810 г., и только в 1852 г. вступил в строй относящийся к этой системе обводной канал вокруг Онежского озера. В конце XIX в. были расширены и углублены каналы, реконструированы шлюзы в расчете на пропуск судов с осадкой до 1,8 м, шириной 9,6 м и длиной до 75 м. Шлюзы были деревянными, ворота открывались при помощи ручных ворот. На протяжении почти всего XIX в. проводка судов по каналам осуществлялась бечевой при помощи людской или конской тяги. Лишь с 1860-х гг. наряду с живой тягой стали применяться и механические цепные буксиры — туэры, и только с реконструкцией в 1990-х гг. перестал существовать бурлацкий промысел. Тем не менее МВС сыграла большую роль в экономическом развитии России, в особенности Верхнего Поволжья.

Преемником МВС системы стал *Волго-Балтийский водный путь* — одно из крупнейших межбассейновых водных соединений, связывающих Волгу с Балтийским морем и водными путями Северо-Запада, соединивший пять морей — Балтийское, Белое, Черное, Азовское

и Каспийское. Таким образом, единственной водной магистралью, связывающей Европу и Азию, является **Волга**. Ее верхнее течение приходится на Валдайскую возвышенность. Отсюда берут начало две другие великие реки Русской равнины — Днепр и Западная Двина. Все они имеют сток в разные морские бассейны: Волга — в Каспий, Днепр — в Черное море, Западная Двина — в Балтику.

Березинская водная система. В 1797 году император Павел I издал указ с поручением наладить водное сообщение между Западной Двиной и Днепром посредством реки Березины — правого притока Днепра, который на протяжении своего течения пересекает территории Витебской, Могилевской и Гомельской областей. Строительство этого водного пути потребовало расширения и выпрямления берегов разных рек, прокладки 6 каналов, возведения 14 шлюзов и 6 плотин. Работы велись в тяжелых условиях (среди густых лесов и непроходимых болот) вдали от основных дорог. До 1817 г. система использовалась для мелкого судоходства, а позже — только для лесосплава (Плечко, 2017; Березинская..., 2019).

Благодаря относительно ровному рельефу верховья рек разных бассейнов близко подходили друг к другу, что давало возможность через волоки устанавливать связь между речными системами, проводить на месте волоков соединительные каналы. В результате была образована Березинская водная система. Канал обеспечивал проход судов и сплав леса из Могилевской, Минской и Витебской губерний в Прибалтику, а через Днепр с Малороссией связывал вокруг лежащие территории с рынком в Риге, был важным как в торговом, так и стратегическом отношениях. Этот водный путь обеспечивал хорошие экономические связи Беларуси с Германией, Польшей и южными регионами России.

Судоходство по водному пути осуществлялось вплоть до 1817 года. Затем возросла роль железных дорог. Тем не менее, лес продолжали сплавать по Березинскому водному пути до 1941 года. Во время Великой отечественной войны шлюзы были взорваны, и канал пришел в упадок. В настоящее время некогда оживленная водная трасса полностью утратила свое лесосплавное и транспортное значение. Часть водной системы используется для рекреационных и природоохранных целей (Снытко и др., 2016).

Днепро-Бугский канал. Идея о соединении Пины, левого притока Припяти, с рекой Мухавец, правым притоком Западного Буга, возникла почти три века назад, строительство началось в 1775 г., затем было прервано и возобновилось в 1837 г. Трасса проходила по сильно

заболоченной лесистой местности. Канал прокладывался вручную и представлял собой неглубокий ров шириной 12 м, по которому с трудом могли пройти небольшие суда. В XIX в. судоходство приобрело регулярный характер, но осложнялось мелководьем. В связи с этим в 1839 г. началось строительство гидротехнических сооружений и Белозерского, Ореховского и Туровского водопроводов. Через 7 лет общая длина канала достигла 80 км, ширина дна — 10 м. Канал питался водой Ореховского и Белого озер через боковые водопроводы.

Во время Первой мировой войны большинство сооружений канала было разрушено и лишь частично после нее восстановлено. Тем не менее, он сыграл немалую роль в развитии бездорожного края. В 1939 г. Днепро-Бугский канал был коренным образом реконструирован и стал на всем протяжении судоходным. Длина его достигла 93 км, на участке от Кобрини до Выгоды, на протяжении 12 км, был прокопан по прямой линии совершенно новый канал, построено 10 современных гидроузлов с плотинами и водоспусками. Во время Великой Отечественной войны Днепро-Бугский канал был сильно поврежден, но в мае 1945 г. уже был восстановлен. Его экономическое значение, благодаря расширению торговых связей со странами СЭВ, и в первую очередь с Польской Народной Республикой (1952—1989 гг.), возрастало с каждым годом. В 1954—1956 гг. построены еще два гидроузла, осуществлена дальнейшая реконструкция пути. Ширина канала достигла 22 м, что позволило организовать нормальное двустороннее плавание. По каналу стали ходить 600-тонные баржи с различными грузами (Плечко, 1985).

Будущее Днепро-Бугского канала — полная интеграция в систему международного водного пути, который является магистральной водной артерией от Херсона до Гданьска. Многолетняя работа Днепро-Бугского водного пути превратила старинный путь в современную высокотехнологичную артерию международного значения.

Августовский канал — памятник гидротехнического зодчества первой половины XIX в. Водный путь общей протяженностью 102,8 км начинается от озера Сервы вблизи польского Августова и пролегает практически до белорусского Гродно. Искусственные русла длиной 45 км связали одиннадцать рек и семь озер. В XIX в. этот рукотворный водный путь соединил бассейны рек Вислы и Немана, на севере обеспечив выход к Балтийскому морю, а на юге — к Черному (через Огинский канал, Днепр, Березинскую водную систему и Двину). Но только в 1824 году проект Августовского канала одобрил император Александр I. Строительство заняло 15 лет: было сооружено 29 водо-

пропускных плотин, 18 шлюзов, 21 камера, 14 мостов, 24 объекта для обслуживания канала. Но его история как важной транспортной артерии для сплава древесины и товаров была недолгой. В 1825 году соглашение с Пруссией урегулировало таможенные пошлины, а во второй половине XIX века развитие железных дорог сделало канал не востребовавшимся для перевозок. Тем не менее, пролегая по красивейшим местам, Августовский канал стал объектом туристического паломничества. В 1909 году вдоль русла состоялась первая пешая экскурсия, позже открылся конный маршрут. Во время Первой мировой войны канал значительно пострадал, в том числе из-за оборонительных сооружений, возведенных в конце XIX — начале XX вв. В 1920–1939 годы возобновились туристические маршруты, курсировали два колесных парохода, работали яхт-клубы и др. В годы Великой Отечественной войны гидротехнические сооружения канала, вдоль которого были построены оборонительные доты, существенно пострадали, а распределительный шлюз Черток разрушен (Августовский ..., 2019).

Ценность канала в его уникальной экосистеме. Многочисленные озера и реки, Августовская и Гродненская пуши, большое биоразнообразие животных и растений, включая виды, занесенные в Красную книгу. Августовская пуша, являясь одним из крупнейших лесных массивов Европы, расположена на территории трех стран (Беларуси, Польши и Литвы). *Августовский канал как выдающееся гидротехническое сооружение XIX века, один из крупнейших каналов Европы, включен в предварительный Список всемирного наследия ЮНЕСКО. В мире существует всего три подобных канала: Каледонский в Великобритании, канал Гота в Швеции и Августовский канал, расположенный на территории Польши и Беларуси* (Августовский ..., 2019; Гродненская обл., 2007; Туристский атлас..., 2009).

Гидротехнические преобразования речной сети на нынешней территории *Калининградской области* начались в Средневековье. В 1395 г. были начаты работы по спрямлению и расширению русла реки Дайме (ныне — Дейма), которая стала глубоким судоходным каналом от г. Тапиау (Гвардейск) до г. Лабиау (Полесск). Это был первый практический шаг на пути к созданию обустроенной речной судоходной сети в Восточной Пруссии. Затем в течение четырех столетий шаг за шагом здесь были спрямлены и углублены другие реки, построены большие и малые судоходные каналы.

Одним из интереснейших гидротехнических сооружений области является *Мазурский канал*. С середины XVII века началось строитель-

ство каналов между Мазурскими озерами. И уже тогда возникла идея соединить судоходным путем Мазурские озера и Балтийское море через р. Прегель (Преголя), но к реализации этой идеи приступили в 1764 г. Канал соединял озеро Мамры в нынешней Польше (немецкое название — Мауэрзее) с рекой Лавой на территории нынешней Калининградской области. Вода поступала в Лаву самотеком, так как перепад уровня воды составлял около 100 м. Канал неоднократно модернизировался. В ходе модернизации 1934—1942 годов было построено десять шлюзов (пять из них находятся в Польше, пять — в России). В ходе Второй мировой войны использовавшийся в качестве рубежа обороны канал сильно пострадал. Этот грандиозный гидротехнический проект, вдохновлявший воображение многих поколений жителей Восточной Пруссии, так и не был завершен. Однако в ландшафте это сооружение имеет свое реальное воплощение (Бардун 2016; 2017; 2019; Бардун, Лоов, 2017).

Каналы — сложные гидротехнические сооружения. Инженерная гидрографическая сеть, дренирующая территорию, остается таковой и после эксплуатации системы, становится частью природных, а, точнее, природно-антропогенных условий. Следовательно, их можно рассматривать и как хозяйственный, и как исторический объект природопользования, в том числе, и как элемент исторического, в том числе и международного туризма.

Последствия столь масштабных гидрогенных преобразований еще слабо изучены: происходит перестройка гидрологических, гидрогеологических связей, формирование особых условий гипергенеза, нарушается единство природной морфолитосистемы.

Какой комплекс мероприятий может быть предложен? Прежде всего должна быть проведена экономическая и социальная оценка с использованием теории и практики эколого-геоморфологического (морфолитологического) анализа территории данных объектов с точки зрения рентабельности (Сен-Марк, 1977).

Глава 7.

АНТРОПОГЕННЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ НА ТЕРРИТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

*«Все изменчивое есть не что иное,
чем определение устойчивого состояния».*

И. Кант (1755)

Притяжение морского побережья, мягкий климат, многообразие ландшафтов, благоприятные условия для жизни — все это привлекало селиться на землях современной Калининградской области. Многовековая история заселения и освоения этой территории сменявшимися друг друга этносами объясняет высокую степень окультуривания, «очеловечивания» ландшафтов. Калининградская область — одна из наиболее староосвоенных территорий Нечерноземной зоны России, земли которой практически полностью были вовлечены в хозяйственный оборот. За несколько веков интенсивного природопользования в результате взаимодействия, взаимного приспособления этноса и ландшафтов происходит формирование региональной антропогенно-геоморфологической системы. Смена этноса приводит к перестройке системы природопользования и как следствие преобразованию рельефа. Такие специфические черты преобразования рельефа каким-либо местным этносом (курганы викингов, укрепления пруссов и т.д.) сохраняются вплоть до индустриального этапа развития системы природопользования, когда воздействие на ландшафты в значительной степени унифицируется, так как внедряются универсальные технологии природопользования, что в наибольшей степени проявляется в строительстве дорог или городской застройке.

Время «запуска» процессов антропогенного морфолитогенеза соответствует началу хозяйственного освоения территории. На длительно освоенных территориях сложно разделить комплекс преобразованных и искусственных форм рельефа, возникших на том или ином этапе хозяйственного преобразования территории, и, в частности, смены системы природопользования: расширение или сжатие сельскохозяйственных угодий, строительство гидротехнических сооружений, рост городов и т.д.

Сформированные на каждом из этапов хозяйственного освоения территории элементы антропогенного рельефа могут иметь

разную «судьбу» на последующих этапах развития природопользования:

— они встраиваются в новую систему, при этом эксплуатируются как унаследованная сеть дорог, или остаются «памятниками» прошедших эпох, как курганы, могильники пруссов в Калининградской области;

— могут быть уничтожены в ходе нового строительства дорог или расширения поселений или могут быть использованы для других хозяйственных целей. Например, использование защитных валов Кенигсберга как насыпей для уличной сети или мельничных прудов городов области как рекреационных зон.

На каждом этапе хозяйственного освоения в конкретном регионе различные процессы антропогенного морфолитогенеза имели разные масштабы в соответствии с пространственным типом природопользования в конкретном регионе: наиболее широкое преобразование рельефа происходило в ареалах фонового или крупноареального типа аграрного, лесохозяйственного природопользования. Локальное преобразование рельефа соответствовало некоторым видам традиционного природопользования: охота, рыболовство, бортничество и т.д. Но на ранних этапах природопользования и сельское хозяйство как агент преобразования рельефа имело локальный характер.

Природные и антропогенные процессы морфолитогенеза зачастую имеют противоположное направление: в случае долины Немана — разрушению дамб противопоставлены мероприятия по поддержанию их в рабочем состоянии.

Трансформация рельефа при освоении и хозяйственном использовании территории имеют как прямой, так и косвенный характер.

Прямое воздействие на рельеф — целенаправленное изменение рельефа (создание искусственных форм, уничтожение или изменение существовавших) в процессе природопользования, «приспособление» ландшафтов к системе природопользования на данном этапе освоения территории: формирование системы полей в Калининградской области, каналов и т.д.

Косвенное преобразование рельефа является побочным эффектом какого-либо вида природопользования. Например, развитие карстовых форм в результате утечек воды из коллекторов; разрушение авантюна Куршской косы из-за неумеренной рекреационной нагрузки. На

сельскохозяйственных угодьях даже с небольшими уклонами происходит формирование эрозионных форм рельефа, хотя агротехнические приемы — поперечная вспашка, планирование поверхности — препятствуют их развитию. Прекращение антропогенной энергетической «подпитки» ведет к снижению устойчивости искусственных и преобразованных элементов рельефа к природным процессам, например, происходит заиливание мелиоративных каналов, разрушение насыпей и т.д.

Антропогенные преобразования рельефа включают:

– *мероприятия по формированию новых антропогенных форм рельефа или преобразованию природных*, например, канализация рек, отсыпка железнодорожных и автодорожных насыпей, создание искусственных водоемов и водотоков и т.д.;

– *мероприятия, поддерживающие созданные или преобразованные формы рельефа в необходимом для общества состоянии* (подсыпка грунта, чистка каналов);

– *мероприятия по рекультивации нарушенных ландшафтов*, в том числе и антропогенных форм рельефа, например, карьеров, терриконов и т.д.

Оценка динамики антропогенного рельефа Калининградской области в результате изменения природопользования базируется на данных архивных и статистических материалов (База данных..., *Mały rocznik...*, 1941), анализе картографического материала, спутниковых снимков, результатах экспедиционных исследований 2003–2018 гг.

В качестве пространственных ячеек для расчета площади антропогенно-преобразованных земель рассматриваются речные бассейны Калининградской области (использована схема речных бассейнов Д.А. Домнина и Б.В. Чубаренко (2007)). Речные бассейны характеризуются особыми чертами водного режима (интенсивность поверхностного и подземного стока, распространение переувлажненных и заболоченных земель и т.д.), что является одним из решающих факторов для сельскохозяйственных угодий, выбора агротехнических приемов, строительства гидротехнических сооружений, мелиоративной сети и т.д.

История формирования современной антропогенно-геоморфологических систем Калининградской области

Преобразование рельефа территории современной Калининградской области началось с ее заселения примерно 10 тыс. лет назад (Гуревич, 1960; Кулаков, 2003), но этот процесс носил локальный характер (жилища, тропы, небольшие участки обрабатываемой земли).

В период набегов викингов на берега Самбии (VIII–X вв.) появились первые дошедшие до настоящего времени искусственные формы рельефа: могильники, курганы, селища (Гуревич, 1960). В дальнейшем формировались постоянные поселения и укрепления пруссов, транспортная сеть, небольшие ареалы сельскохозяйственных земель.

С началом экспансии немецкого ордена (XIII в.) преобразование рельефа приобрело более значительные масштабы и включало:

- использование и перестройку существовавших прусских крепостей;

- строительство новых укреплений, в том числе были созданы искусственные формы рельефа. Так, при строительстве каменного замка Лабиау (современный Полесск) грунт, изъятый из крепостного рва и фарватера одного из рукавов Дайме, был отсыпан на заболоченный остров (Замки и укрепления..., 2005);

- образование системы питьевых озер и каналов (Романова Е.А., 2005);

- формирование системы транспортных каналов, преобразование речных систем (спрямление и канализация рек и т.д.). Примером может служить строительство канала Тапиау-Лабиау (Гвардейск-Полеск), соединивший Преголю и Дейму (Замки и укрепления..., 2005).

Вслед за продвижением ордена от побережья Балтийского моря на восток по рекам расширялись ареалы сельскохозяйственных угодий, сеть поселений, увеличивалось количество искусственных и преобразованных водных объектов. По данным летописей, уже в 1421 г. площадь пашен в округе Кройцбург (современный пос. Славское) достигала 20% (Замки и укрепления..., 2005). Восточные районы были полностью заселены лишь к XVII в. (Орлёнок и др., 2001). Рост населения потребовал расширения сельскохозяйственных угодий и освоения наиболее сложных с точки зрения природных условий, но потенциально высокопродуктивных ландшафтов переходных

и низинных болот дельты Немана и создание массивов польдерных земель. Строительство системы польдеров завершилось уже в начале XX в. В дальнейшем неоднократно сменяли друг друга волны расширения и сжатия хозяйственно освоенных земель на современной территории Калининградской области в результате изменения политических и социально-экономических условий (эпидемии, войны, экономические кризисы) (Виноградова, 2020).

Максимального расширения ареалы используемых земель достигли к началу Второй мировой войны. К этому времени сформировалась система аграрного природопользования с дополняющими лесохозяйственным, селитебным, транспортным видами использования земель. В предвоенный период водной мелиорации подвергались почти 90% территории современной Калининградской области, 76% от общей площади занимали сельскохозяйственные угодья (до 28% из них — польдеры). Польдерные земли занимали наибольшую площадь в пределах речных бассейнов малых рек южного побережья Куршского залива, Деймы, Прохладной, Преголи и дельты Немана (рис. 7.1, цв. вкладка). Сельскохозяйственные угодья занимали не менее 70% бассейнов Прибрежной, Медвежьей, Голубой, Анграпы. Наименьшая доля агросистем была в бассейнах с наименее благоприятными условиями земледелия бассейнов рек Самбийского полуострова, Мамоновки, Нельмы.

Площадь селитебных и дорожных ландшафтов в целом в 1939–1940 гг. достигала 9,2%, и максимальная их доля (до 30%) наблюдалась в бассейнах малых рек Самбийского полуострова, где сформировался «морской фасад» Восточной Пруссии. Селитебные и дорожные ландшафты занимали около 8% площади бассейна Преголи: здесь находятся основной транспортный коридор и крупные города — Кенигсберг, Нойхаузен, Гердауэн, Вейлау. В этот период в Восточной Пруссии (в границах Калининградской области) насчитывалось около 2000 фольварков и поселков, максимальное количество которых наблюдалось в бассейнах Нельмы, Преголи и Лавы. Добыча торфа производилась на крупных болотных массивах бассейнов Голубой, Деймы, Анграпы и дельты Немана, мелкие торфяные залежи к 1939 г. уже были выработаны. Лесохозяйственные угодья (вырубки и лесопосадки) максимальную площадь занимали в бассейнах рек Шешупы, Писсы и Анграпы. В этот период основным процессом преобразования рельефа было формирование селитебных, транспортных и агро-мелиоративных ландшафтов.

В послевоенные годы вплоть до середины 1950-х гг. в Калининградской области произошло резкое падение доли используемых сельскохозяйственных земель (до 5–10%), были разрушены мелиоративные системы, прекратили функционировать польдеры. Это привело к активизации природных процессов на залежных землях. Часть селитебных ландшафтов также была разрушена в ходе военных действий, полностью исчез город Ширвиндт. В этот период были демонтированы узкоколейные железнодорожные ветки, но дорожные насыпи и выемки большей частью сохранились.

В последующие годы (до 1975–1980 гг.) в результате действия программ восстановления хозяйства вновь выросла площадь сельскохозяйственных земель (около 63%), хоть и не достигла предвоенного уровня, появились отдельные ареалы залежных земель. В то же время в 2 раза сократилась численность и площадь сельских населенных пунктов, особенно в бассейнах Нельмы, Прохладной, Лавы, Голубой и южной части бассейна Шешупы. Одновременно выросла площадь Калининграда, Гурьевска и приморских городов. Еще одно направление развития природопользования этого периода — увеличение площади лесопосадок в бассейнах Писсы, Анграпы, на севере бассейна Шешупы, в дельте Немана, на Куршской и Вислинской косах.

В южной части бассейна р. Шешупы был создан военный полигон (около 30% площади бассейна), еще один полигон (Хмелевка) находится на западном побережье Самбийского полуострова. Там сформировался комплекс бelligеративных элементов рельефа (траншеи, дзоты, воронки и т.д.). В результате изменений системы природопользования в области преобладающим видом морфолито-генеза в 1970–1980-е гг. стали аграрное, оборонное, лесохозяйственное, селитебное природопользование, а также природные процессы на восстанавливаемых землях.

После 1975–1980 гг. в области постепенно снижалась площадь используемых сельскохозяйственных угодий, в начале 1990-х гг. этот процесс в результате глубокого политического и экономического кризиса стал еще более интенсивным (рис. 7.2, цв. вкладка). К 2010–2011 гг. доля сельскохозяйственных земель снизилась до 15%, площадь залежей выросла почти до 50%. Максимальное падение отмечалось в бассейнах Деймы, малых рек южной части Куршского залива, Прохладной. Повторное освоение заброшенных сельскохозяйственных земель началось в 2010–2011 гг. Соответственно выросла доля вновь осваиваемых ландшафтов: в наибольшей степени —

в бассейнах Деймы, малых рек южного побережья Куршского залива, Прибрежной, Береговой, Мамоновки.

Начиная с середины 1990-х гг. началось быстрое увеличение площади городских ландшафтов Калининграда, Гурьевска, курортных городов и пригородных поселков. Рекреационное природопользование концентрируется в приморской зоне, что и стало одной из причин роста доли селитебных земель в бассейнах Преголи (западной части), Медвежьей, малых рек Самбийского полуострова. Почти повсеместно прекращена добыча торфа, кроме бассейна Шешупы и Деймы. В зоне неглубокого залегания пластов янтаря в пределах бассейна Нельмы, Медвежьей и Тростянки в результате незаконной добычи появились небольшие по площади карьерно-отвалы ландшафты. Лесопользование в основном сводится либо к лесовозобновлению, либо к санитарным рубкам. На современном этапе развития системы природопользования Калининградской области преобладают процессы восстановления ландшафтов и расширение аграрных, селитебных и транспортных систем (табл. 7.1).

Таблица 7.1. Особенности формирования агро- и гидрогенных ландшафтов физико-географических районов Калининградской области

Физико-географический район, его ландшафтные особенности	Характер освоения территории и процессы антропогенного морфолитогенеза, площадь агро- и гидрогенных антропогенных ландшафтов в 1939 г.	Современное состояние площади агро- и гидрогенных антропогенных ландшафтов, их площадь в 2018 г.
Самбийская конечно-моренная равнина, флювиогляциальная волнистая равнина, в сочетании с холмистой равниной основной морены, камов и оз	Освоение началось с XIII в., к началу XVI в. район был практически полностью занят сельскохозяйственными угодьями. Основные процессы антропогенного морфолитогенеза: формирование открытой и закрытой дренажной сети, планирование поверхности полей, выработка мелких торфяников, спрямление и обваловка русел мелких рек и ручьев. Площадь антропогенных ландшафтов в 1939 г. — 80,8%	Из-за относительно низкого плодородия почв и подорожания участков земли в 1990-е гг. произошло массовое забрасывание угодий, разрушение мелиоративной сети, вызвавшее вторичное заболачивание. Повторное освоение агро- и гидроландшафтов имеет фрагментарный характер, площадь залежей максимальная для всей Калининградской области — 65,2%, площадь функционирующих антропогенных ландшафтов — 15,6%

Физико-географический район, его ландшафтные особенности	Характер освоения территории и процессы антропогенного морфолитогенеза, площадь агро- и гидрогенных антропогенных ландшафтов в 1939 г.	Современное состояние площади агро- и гидрогенных антропогенных ландшафтов, их площадь в 2018 г.
<p>Вармийская и северная часть Виштынецкой конечно-моренной гряды: имеет наиболее расчлененный рельеф, сочетание гряд и понижений, занятых долинами рек, озерами и болотами. Восток Виштынецкой возвышенности занят лесным массивом</p>	<p>Вармийская возвышенность была освоена в XIV–XVI вв., Виштынецкая — в XVIII в. Из-за нормального увлажнения и больших уклонов поверхности не было необходимости в формировании мелиоративной сети. Процессы преобразования рельефа ограничивались выравниванием поверхностей и образованием локальной осушительной сети. Площадь сельскохозяйственных угодий в 1939 г. Вармийской возвышенности 86,1%, Виштынецкой возвышенности в целом — 73,4%, наиболее освоенной западной ее части — около 86%</p>	<p>В 1960–1980 гг. часть сельскохозяйственных угодий запада Виштынецкой возвышенности была занята лесопосадками. В 1990-е гг. практически полностью брошены сельскохозяйственные земли, в том числе из-за низкого плодородия почв и отдаленности от центра территории. В настоящее время сельскохозяйственные ландшафты вновь фрагментарно осваиваются, формируются новые пастбищные ландшафты, появляется пастбищная тропиночная сеть. Площадь обрабатываемых сельскохозяйственных угодий Вармийской возвышенности 18,7%, Виштынецкой возвышенности в целом — около 12%, ее западной части — 18,1%</p>
<p>Центральная равнина основной морены — самый обширный физико-географический район, холмистые равнины сочетаются с обширными долинами рек Преголи в среднем и верхнем течении и ее притоков, обладает относительно плодородными почвами</p>	<p>В силу своей протяженности район осваивался постепенно в направлении с запада и юго-запада на север и северо-восток с XIII по XVII в., в 1939 г. площадь сельскохозяйственных земель составляла 61,6%, процессы формирования агро- и гидрогенных ландшафтов: планирование поверхности сельскохозяйственных угодий, формирование открытой и закрытой дренажной сети, канализация и обваловывание верховий Преголи и Писсы</p>	<p>Возобновление обработки отдельных сельскохозяйственных угодий, восстановление мелиоративной сети. Площадь функционирующих агро- и гидрогенных ландшафтов 29,2%</p>

<p>Физико-географический район, его ландшафтные особенности</p>	<p>Характер освоения территории и процессы антропогенного морфолитогенеза, площадь агро- и гидрогенных антропогенных ландшафтов в 1939 г.</p>	<p>Современное состояние площади агро- и гидрогенных антропогенных ландшафтов, их площадь в 2018 г.</p>
<p>Прегольская и Маломожайская озерно-ледниковые равнины, плоские, со слаборасчлененным рельефом, с глинистыми и суглинистыми отложениями, образованием верховодки, широким распространением болотных комплексов, довольно плодородными почвами</p>	<p>Освоение территории в XIII–XIV вв., формирование польдеров — в XVII–XVIII вв. Образование открытой мелиоративной сети, польдерных участков в долинах Преголи (нижнее течение) и Прохладной. Часть торфяных залежей была выбрана, крупные болота осушались и были заняты под торфоразработку. Площадь сельскохозяйственных земель Прегольской равнины составляла 72,3%, Маломожайской — 84,3%</p>	<p>Площадь современных (обрабатываемых) сельскохозяйственных ландшафтов Прегольской равнины 23,9%, Маломожайской — 23,8%. Польдеры в настоящее время не осушаются, часть из них используется как неосушаемые сенокосы, вторичное заболачивание. Разрабатывавшиеся верховые болота обводнены</p>
<p>Неманская древнедельтовая низменность представляет собой систему верховых, переходных и низинных болот, с высокоплодородными почвами, наибольшей плотностью речной сети</p>	<p>Агро- и гидрогенные ландшафты созданы в XVII–XVIII вв., первые дамбы были построены в XIV в. На территории этого физико-географического района создан крупнейший массив польдеров, в результате сработки торфа произошло понижение поверхности, сформирована искусственная гидрографическая сеть (каналы, канавы, приемные водоемы), канализированы и обвалованы реки, выбраны торфяники, осушались и использовались торфяные болота как торфоразработки. Часть польдеров включала не только сельскохозяйственные угодья, но и поселения. Площадь антропогенных ландшафтов 54,5%</p>	<p>В 1980-х гг. прекращены торфоразработки, часть внутривольдерных поселений на берегу Куршского залива заброшены, частично восстанавливается мелиоративная сеть, осушается часть польдеров, некоторые польдеры используются как неосушаемые сенокосы, неосушаемые польдерные угодья повторно заболачиваются. Площадь функционирующих агро- и гидрогенных ландшафтов 9,7%. Торфяники повторно обводнены</p>

Физико-географический район, его ландшафтные особенности	Характер освоения территории и процессы антропогенного морфолитогенеза, площадь агро- и гидрогенных антропогенных ландшафтов в 1939 г.	Современное состояние площади агро- и гидрогенных антропогенных ландшафтов, их площадь в 2018 г.
Прибрежные низменности Куршского и Вислинского заливов: сильно заболоченные плоские низменности с относительно плодородными почвами	Площадь агро- и гидрогенных ландшафтов низменности Куршского залива 44,2%, полевые земли занимали около половины сельхозугодий, сформирована открытая дренажная сеть. Площадь агро- и гидрогенных ландшафтов низменности Вислинского залива около 40%, в районе подтопленной древней дельты Немана сформирован массив полей	В настоящее время площадь агро- и гидрогенных ландшафтов низменности Куршского залива 17,5%, Вислинского залива — около 3%
Шешупская древнеаллювиальная равнина: бугристый рельеф, дюнные массивы, широкое распространение верховых болот, малоплодородные легкие почвы	Значительная площадь района занята лесопосадками, разрабатываются торфяные залежи. Физико-географический район освоен в XVIII в. Площадь сельскохозяйственных земель составляла около 33%	Сельскохозяйственные угодья практически полностью заброшены (функционирует около 7%)
Куршская и Вислинская косы	Небольшой участок осушаемых земель — верховое болото в корне Куршской косы. Площадь преобразованного антропогенной деятельностью рельефа около 2%	Площадь преобразованного антропогенной деятельностью рельефа около 1%

Преобразования в водосборных бассейнах области

Опираясь на данные летописей, картографические материалы можно с некоторой долей приближения определить возраст агро- и гидрогенных элементов антропогенно-геоморфологических систем западной части области примерно в 750 лет (некоторых земель вокруг

доорденских поселений еще больше), восточных районов области и польдеров Славского и Полесского районов — около 300 лет. Селитебные и дорожные ландшафты, возникшие в прусские времена, появились на несколько веков раньше.

Наиболее масштабным видом природопользования, определяющим антропогенное преобразование рельефа и процессы функционирования антропогенно-геоморфологических систем за весь период освоения в Калининградской области, стало аграрное, в меньшей степени — оборонное и лесохозяйственное землепользование, селитебные и дорожные элементы имеют значительное по сравнению с другими областями Северо-Запада России распространение — свыше 10% общей площади (Виноградова, 2020).

Современные антропогенно-геоморфологические условия Калининградской области, в отличие от других регионов России, включают специфические польдерные системы, которые сочетают крупноареальное преобразование территории и глубокую ее трансформацию, которую можно сравнить с преобразованием рельефа и других компонентов ландшафта в поселениях или других техногенных ландшафтах (Горшков, 1998).

Калининградская область, как региональная антропогенно-геоморфологическая система, включает разновозрастные элементы:

1. Унаследованные элементы, являющиеся «реликтами» предыдущих систем природопользования региона либо сменившие свои функции:

— городища, селища, курганы, могильники пруссов, викингов, созданные до XII в.;

— остатки оборонных валов орденских времен, например, Литовский вал в Калининграде, выполняющий функции рекреационной зоны;

— насыпи, выемки демонтированных железных дорог, иногда используемые как автомобильные дороги (рис. 7.3, цв. вкладка);

— заброшенные и разрушенные фольварки и мелкие поселения;

— выработанные карьеры, торфоразработки, заброшенные или приобретшие новые функции. В настоящее время старый янтарный карьер в пос. Синявино используется как рекреационная зона;

— Мазурский канал, потерявший свое транспортное значение, но приобретший рекреационную функцию (рис. 7.4, цветная вкладка).

2. Унаследованные антропогенные формы и элементы антропогенно-геоморфологических систем, в настоящее время выполняющие свойственные им функции:

- система поселений и дорог, сложившаяся в целом к XVIII в.;
- система питьевых прудов и каналов, сформированная в XIV в., обеспечивающая часть Калининграда в настоящее время;
- транспортные каналы, чья роль снизилась, но они продолжают эксплуатироваться;
- сельскохозяйственные угодья, чье местоположение и назначение не менялось веками;
- польдерные системы, открытый и закрытый дренаж, насосные станции, дамбы и другие гидротехнические сооружения, часть которых требует реконструкции (рис. 7.5, цв. вкладка);
- земли военных полигонов.

3. Современные элементы — антропогенные компоненты, возраст которых не более 30 лет, продолжают формироваться в настоящее время:

- расширяющаяся селитебная и промышленная застройка Калининграда, приморских городов и пригородных поселков; в меньшей степени этот процесс захватывает малые города восточной части области;
- появление отдельных точечных элементов промышленной застройки, например, подземное газохранилище вблизи пос. Романово;
- дополнение дорожной сети области — Приморское кольцо и т.д.

За период с 1939—1940 по 2018—2019 гг. произошло несколько смен систем природопользования, приведших к трансформации рельефа ландшафтов (табл. 7.2; рис. 7.6, цв. вкладка).

– в 1939—1940 гг. — аграрная система с дополняющими селитебным, горнодобывающим, транспортным, лесохозяйственным видами землепользования;

– в период послевоенной разрухи практически выпал сельскохозяйственный вид природопользования;

– в период с 1955 по 1975—1980 гг. в результате реформ сельского расселения, укрупнения сельскохозяйственных угодий и других процессов в системе природопользования вновь ведущую роль стало играть аграрное землепользование, второстепенным видом стало оборонное землепользование, дополнительными видами оставалось селитебное и транспортное землепользование;

Таблица 7.2. **Площадь земель, преобразованных в результате природопользования, в % от общей площади речного водосборного бассейна в пределах Калининградской области**

№	Речной водосборный бассейн	Площадь антропогенно-преобразованных земель, %	
		1939 г.	2018 г.
1	Малые реки Самбийского полуострова	30	от 12 до 40
2	Медвежья	70	42
3	Тростянка	62	32
4	Малые реки юга Куршского залива	от 60 до 82	от 2 до 12
5	Дейма	70	8
6	Дельта Немана	юго-запад бассейна — 10, остальная часть — 90, в среднем — 63	юго-запад бассейна — 8, остальная часть — 36, в среднем — 28
7	Инструч	более 80	16
8	Шешупе	северная и южная части — менее 10, центральная — более 90, в среднем — 68	менее 5
9	Прибрежная	около 70	до 5
10	Нельма	около 50	до 5
11	Преголя	66	18
12	Писса	северная часть бассейна — 80, южная — менее 5, в среднем — 52	северная часть бассейна 10, южная — менее 5, в среднем — 8
13	Бассейн полуострова Бальга	64	23
14	Ближняя	73	5
15	Береговая (район г. Ладушкин)	более 70	до 5
16	Мамоновка	более 50	до 5
17	Прохладная	65	22
18	Лава	76	28
19	Голубая	82	21
20	Анграпа	83	18

— в результате кризиса 1990-х гг. произошла трансформация системы природопользования: основную площадь стали занимать восстанавливающиеся ландшафты многолетних залежей, вторым по площади стало аграрное и оборонное природопользование, дополняющими — селитебное и транспортное.

Одно из последствий смены системы природопользования за период с 1939 по 2019 г. — изменение комплекса геоморфологических процессов. Мелиоративная система Калининградской области, включающая массивы полейдеров, предназначенная для осушения земель, противостояла естественному процессу заболачивания. Самые обширные массивы осушаемых земель в 1939 г. были сосредоточены в бассейнах рек Прохладной, Преголи, Деймы, малых рек южного побережья Куршского залива и дельты Немана. После забрасывания сельскохозяйственных земель в 1990-е гг., прекращения работы части мелиоративных систем вновь возобновился процесс заболачивания.

Сформированная в целом к 1939 г. система каналов и канализированных и обвалованных рек привела к ослаблению русловых процессов (абразии и аккумуляции), нагонов речных вод, ограничению половодий и отложения наилка. В наибольшей степени это относится к бассейнам Писсы, Преголи, Немана и Деймы. Гидротехнические сооружения и объекты функционируют и в настоящее время, в основном они успешно справляются с регулированием режима рек.

В силу особенностей климата (редкие ливневые дожди), состава почв и грунтов (в основном легкого гранулометрического состав) и плоского и пологоволнистого рельефа большей части области плоскостной смыв не имеет большого распространения. Исключения составляли в 1939 г. только речные бассейны Береговой, Лавы, Голубой, Анграпы, приуроченные к ландшафтам Вармийской и Виштынецкой конечно-моренных гряд и с широким распространением пахотных земель. В настоящее время большая часть земель в этих речных бассейнах заняты залежами с луговым растительными сообществами и плоскостной смыв на них минимизирован.

В соответствии со сменой систем природопользования на разных этапах преобладали процессы формирования аграрных антропогенно-геоморфологическая система (в 1939—1940 и 1975—1980 гг.) или процессы восстановления ландшафтов в годы кризисов после войны и 1990 — начала 2000-х гг.

В наибольшей степени процессы ренатурализации за относительно короткий период прекращения активного аграрного использования земель (20—30 лет) проявляются для самых мобильных

компонентов — биота и почвы, в меньшей степени это относится к функционированию водной системы ландшафтов (вторичное заболачивание, развитие русловой абразии и аккумуляции).

В наименьшей степени заметен процесс восстановления литогенной основы как наиболее стабильного компонента ландшафтов. Искусственные элементы рельефа без постоянной поддержки структуры, состава и процессов функционирования могут довольно быстро разрушаться. Скорость разрушения антропогенных элементов рельефа по данным экспедиционных исследований:

- появление микрорельефа (кочки, промоины) после прекращения обработки сельскохозяйственных угодий — 3–5 лет;
- после прекращения работ по поддержанию состояния дамб в 1990-е гг. их прорывы отмечаются через 8–15 лет;
- заиливание и подмыв каналов и канав начинает сказываться на их работе через 5–6 лет.

В результате многовекового хозяйственного освоения территории Калининградской области сформировалась *уникальная региональная антропогенно-геоморфологическая система*, включающая элементы разного возраста, масштаба и глубины антропогенного преобразования. .

В заключение можно сказать, что побережье Балтийского моря исторически интенсивно эксплуатируется, и особенности природопользования определяют направленность антропогенного морфолитогенеза и устойчивость, и пространственно-временную организованность культурных ландшафтов — управляемых, контролируемых и регулируемых антропогенно-геоморфологических систем.

Глава 8. МОРФОЛИТОГЕНЕЗ НА МОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ

Протяженность границы континентов и Мирового океана составляет 473 тыс. км, из которых около 60 тыс. км — берега России (Лукьянова, Холодилин, 1975; Айбулатов, 2005). Если принять глубину внешней границы береговой зоны океана в среднем около 60 м, то ее площадь составит не менее 15 млн км², т.е. не менее 10% площади суши (Сафьянов, 1996). Учитывая, что последние десятилетия происходит своеобразная «прибрежная революция», и около 1/3 населения планеты проживает в прибрежной полосе шириной 50 км (в Японии и Австралия более 80%), антропогенные изменения береговой среды могут быть необратимыми. (Лымарев, 1986; Долотов, 1996).

Решение задачи о соотношении природных и антропогенных факторов применительно к берегам океана, включающее разнообразные аспекты создания и развития антропогенно-природных геоморфологических систем разного уровня, приводится во многих фундаментальных трудах (Артюхин, 1989а; Лымарев, 2000; Сафьянов, 2006).

Рассмотрим лишь некоторые аспекты берегопользования, которые, на наш взгляд, следует уточнить с позиций собственно берегового морфолитогенеза, сопряженного развития рельефа и коррелятивных рыхлых отложений в пределах береговой зоны (Сафьянов, 1996). Одним из краеугольных камней береговой геоморфологии является понятие «бюджет наносов», определяемое как сумма приходных и расходных статей обломочного материала, поступающего извне и выходящего за пределы литодинамической системы (Зенкович, 1980). Аккумулятивные формы рельефа береговой зоны формируются при сопряженном развитии абразионных и аккумулятивных процессов в результате поступления материала со склонов, твердого стока рек, биогенных наносов, химической седиментации, инженерных мероприятий и т.д. Практически любая антропогенная модификация процессов, определяющих бюджет наносов, интенсивность их поступления и перераспределения в береговой зоне будет формировать антропогенно-геоморфологические морфолитосистемы. Вопросы антропогенной трансформации береговых

морфолитосистем можно представить на примере морей Дальневосточного региона России.

Традиционный уклад жизни аборигенных народов побережья холодных морей, наряду с максимальным приближением к объектам промысла, учитывал и особенности строения побережья, используя для поселения и хозяйственной деятельности песчано-галечные аккумулятивные бары и косы. В условиях вечной мерзлоты зачастую это были единственно возможные места для постоянного проживания. Только два защищаемых населенных пункта Северной Пацифики, моря Бофорта и Чукотского моря расположены на морских термоабразионных террасах. Однако основное внимание исследователей до сих пор обращено на анализ эрозии берегов именно этого типа.

В настоящее время на сотнях километрах морского побережья Чукотского моря есть всего несколько населенных пунктов. Расположены они на аккумулятивных барьерных формах и томболо непосредственно у коренных участков суши, активно разрушаемых морозным выветриванием и абразией, являющихся мощным источником наносов, обеспечивающих устойчивость этих аккумулятивных образований.

На Беринговоморском побережье Чукотки в настоящее время все населенные пункты расположены в закрытых бухтах и на высоких террасах. Еще в начале XX в. весь этот берег был плотно заселен, здесь насчитывалось несколько десятков аборигенных поселков и стойбищ, жители которых были впоследствии перемещены в крупные селения (Крупник, 1989). Одной из основных причин переселения, наряду со сменой системы жизнеобеспечения, называется деградация голоценовых береговых аккумулятивных образований, на которых располагались эти поселения (Каплин, 2002). Последним в этом ряду стал пос. Беринговский, расположенный на пересыпи лагуны Лахтина. Борьба с размывом здесь началась буквально сразу после строительства в 1945 г. причального мола длиной 80 м (Афанасьев, 1989). В 1952–1954 гг. для защиты берега от размыва в районе поселка с интервалом в 100 м было построено 11 деревянных бун. Льдом и штормовым волнением они были быстро разрушены. Эпопея с берегозащитой продолжалась почти 50 лет — до тех пор, пока жители не были переселены в пос. Нагорный, переименованный в честь оставленного людьми пос. Беринговский.

Проблема защиты берегов не обозначена в нормативно-правовых актах Камчатской области. Тем не менее, она существует. В связи со сменой технологий обработки рыбы, часть поселков, созданных при

рыбных базах, была закрыта уже в 1960–1970-е годы. Затем последовала волна укрупнений населенных пунктов, затронувшая преимущественно национальные села. После землетрясения 2007 г. был расселен пос. Корф, расположенный на одноименной косе, и проблема берегозащиты потеряла свою остроту. Но в настоящее время жители сел Ильпирское, Ивашка, Апука и Пахачи на северо-востоке Камчатки общей численностью 1260 человек защищают свои дома подручными средствами, главным образом, старыми баржами и рыболовными судами.

Такие населенные пункты как пос. Оссора, Карага и Вывенка, с. Кострома и Тиличики, расположенные на закрытых от волнения низких аккумулятивных террасах и косах с устойчивым питанием наносами, проблем с размывом берегов в настоящее время не имеют.

Более известна проблема с размывом и защитой берегов на Западно-Камчатском побережье (Зенкович, 1971; Горин, 2012). И если небольшие поселки и рыбные базы здесь уже давно прекратили свое существование, то пос. Октябрьский с населением в 1600 человек, расположенный на Октябрьской косе, до сих пор борется с морской стихией (Угроза..., 2016).

Похожая ситуация складывается и на западном материковом побережье Охотского моря. Размыв низких голоценовых террас, баров и кос, на которых расположены десятки заброшенных поселков и рыбопромысловых баз, никому, кроме ученых и краеведов, не интересен (Призрачная..., 2016). Однако первый на Дальнем Востоке город, а ныне пос. Охотск с населением 3500 человек, расположенный на Тунгусской косе и береговых барах р. Охота, практически с начала своего основания и до настоящего времени «сражается с морем» за выживание (Забелина, 1961). И, если территорию порта на дистальном окончании косы уже несколько десятков лет защищают неоднократно ремонтируемые деревянные волноотбойные стенки, то жилые дома периодически затапливает при штормах в период высоких приливов, достигающих здесь 4 м. Создание берегозащиты, способной устранить данную проблему, оценивается приблизительно в 70 млн рублей (Море..., 2018).

К сожалению, уровень палеогеографической и археологической изученности не позволяет при анализе устойчивости поселений на береговых аккумулятивных образованиях, созданных в заключительный период последней трансгрессии, в полной мере опереться на палеодемографическую модель расселения в динамических прибрежных ландшафтах. Однако очевидно, что постоянные поселки возни-

кали в первую очередь на местах поселений вымерших или эмигрировавших общин, временных промысловых стоянок и сезонных охотничьих лагерей, которые на протяжении жизни нескольких поколений не испытывали разрушающего воздействия моря. Именно высокий уровень специализации жизнеобеспечения и изобилие морских промысловых ресурсов обусловили в XIX — начале XX в. на северо-восточном побережье России и северо-западном побережье Северной Америки одну из самых высоких в приполярном ареале плотность населения береговых охотников — до 3 чел./км² (Крупник, 1989). В этом случае можно утверждать, что поселения, имеющие продолжительную историю, расположены на участках унаследованной аккумуляции, в прикорневых зонах баров и кос, а также на аккумулятивных образованиях типа томболо в волновой тени участков суши, сложенных коренными породами. Именно эти участки были относительно стабильны на протяжении всех ритмов аккумуляции и размыва обусловленных изменениями уровня моря амплитудой 2–4 м в последние 6,5 тыс. лет (Афанасьев, 1992; Каплин, 1999; Mason, Jordan, 2001).

В период промышленного освоения этих территорий среди критериев выбора места для расположения промышленного объекта или поселка опыт местного населения играл весьма значительную роль. Однако следует отметить, что выбор местоположения населенных пунктов в период начала интенсивного промышленного освоения побережья Чукотского, Берингова и Охотского морей происходил на фоне затухания интенсивности береговых морфолитодинамических процессов, в условиях однозначно установившейся тенденции развития аккумулятивных форм побережья.

Изменения интенсивности размыва берегов в XX–XXI вв. отмечены на всех рассматриваемых морях. Так, на берегах Охотского моря выявлен цикл изменения штормовой активности с периодом 60 лет, а пролив лагуны Кивалина еще в начале 1990-х гг. смещался на юго-восток, увеличивая площадь аккумулятивной формы, на которой расположен пос. Кивалина (Аляска). В условиях промышленного освоения побережья усиление размыва берегов Чукотского, Берингова, Охотского и Японского морей, начавшееся в 30–40-х гг. XX столетия, стало серьезным вызовом безопасности населенных пунктов побережья и инфраструктуры (Афанасьев, 1998; Mason et al., 2012).

Несколько иная ситуация сложилась на берегах юга Сахалина. Остатки японских бетонных и деревянных волноотбойных стенок, сохранившиеся на побережье расположены главным образом на

участках, где практически отсутствуют морфолитокомплексы позднеголоценовой прибрежно-морской аккумуляции. Сложные инженерно-геологические условия южного Сахалина (расселение и транспортные коммуникации возможны только вдоль береговой линии) наряду с «приморским менталитетом» японцев явились безальтернативной причиной строительства защитных гидротехнических сооружений с самого начала хозяйственного освоения побережья.

До недавнего времени оценки техногенной нагрузки на берега Сахалина были существенно занижены (Айбулатов, 2005; Афанасьев, Игнатов, 2009). Понятно, что безразмерный показатель (коэффициент K), показывающий отношение протяженности инженерных сооружений и других техногенных объектов характеризует только наиболее общие тенденции воздействия человека на берега. Тем не менее, этот коэффициент позволяет сравнить и оценить уровень техногенной нагрузки на берега (табл. 8.1).

При оценке техногенной нагрузки на берега южного Сахалина было установлено, что бетонные, шпунтовые и ряжевые стенки имеют протяженность около 100 км. Естественные геосистемы были заменены техногенными системами на 12% побережья Владивостока (Петренко, 2001; 2003). В целом на юге Приморья протяженность только портовых гидротехнических сооружений превышает 110 км. Поэтому техногенная нагрузка на берега Дальнего Востока вполне сопоставима с таковой на наиболее, как считается, измененном побережье российского сектора Балтийского моря (Основные..., 2009).

Известно, что портовые гидротехнические сооружения и берегозащитные бетонные конструкции локализованы главным образом на участках, развивающихся по абразионному типу. На аккумулятивных участках берегозащита не нужна, а портовые сооружения практически нельзя построить, да и заносимость является существенным препятствием функционирования порта, а также бетонные сооружения имеют ограниченный срок службы. В результате наблюдений установлено, что сохранилось очень мало оградительных портовых сооружений, построенных на Сахалине в период 1918–1938 гг. (рис. 8.1, цв. вкладка). То же самое относится к волноотбойным стенкам, которые повсеместно разрушены (рис. 8.2, цв. вкладка). Данные специальных обследований показывают, что средний срок службы морских бетонных сооружений составляет 30 лет (Шалый, Ким, 2018; Шалый и др., 2019).

Таблица 8.1. Антропогенная нагрузка на берега острова Сахалин

Участок побережья	Протяженность побережья, км	Протяженность сооружений, км				Коэффициент техногенной нагрузки К, км/км _{поб.}
		Бетонные, шпунтовые, рьязовые стенки, сооружения откосного типа	Моли, причалы, шпоры, галереи	Неустойчивые участки, требующие безотлагательной защиты	Песчаные карьеры в зоне пляжа, L/Q (км/тыс. м ²)	
Залив Анива	245,0	17,9	4,8	2,1	0,75/200	0,09
Залив Мордвинова	30,0	0,8	0,4	–	12,0/1622 (1975–1985 гг.)	0,04 0,44
Залив Терпения М. Сенявина — м. Терпения	405,0	32,0	2,9	25,4	9,0/ >1000 0,85/4000	0,09/0,15 0,11/0,17
М. Терпения — м. Елизаветы	690,0	2,0	0,9	–	1,4/ >1000	0,004 0,006
Сахалинский залив, Амурский лиман, пролив Невельского	420,0	2,1	2,1	–	–	0,01
Татарский пролив, м. Тык, м. Корсакова	225,0	1,5	2,7	–	–	0,02
М. Корсакова — м. Ламанон	160,0	9,4	3,4		–	0,08
М. Ламанон — м. Слепиковского	185,0	12,0	2,2	2,5	–	0,08/0,09
Залив Невельского — м. Слепиковского, м. Лопатина	95,0	37,8	5,7	7,0	–	0,46
М. Лопатина — м. Крильон	90	2,4	0,3		0,3/нет данных	0,03 0,03
Итого:		102,1	25,4	37,0		

Учитывая высокую энергообеспеченность береговых морфолитодинамических процессов, соответствующую общей диссипации механической энергии волн (около $6,1 \cdot 10^9$ кВт), приливов и течений в береговой зоне Мирового океана (Сафьянов, 1978), а также короткий, не превышающий 50–100 лет срок превращения этих сооружений в валунно-галечные наносы, можно сделать вывод: бетонные гидротехнические сооружения следует рассматривать как структуры, изменяющие только темп процессов разрушения берегов, создающие временные «отмершие» береговые уступы, уменьшающие приходную часть баланса наносов береговой зоны и моделирующие их вдольбереговые перемещения.

В проливах гидротехнические сооружения могут воздействовать на вдольбереговое перемещение наносов, бюджет которого может достигать нескольких сотен тыс. м³ (Афанасьев, 2019). Максимальная скорость формирования аккумулятивной формы заполнения входящего угла с северной стороны полуторакилометровой дамбы в проливе Невельского составляла в первые пять лет около 1,5 млн м³/год (Афанасьев и др., 2008). Однако уже через 20 лет шпунтовая дамба была наполовину разрушена, а в настоящее время от нее не осталось и следа (рис. 8.3).

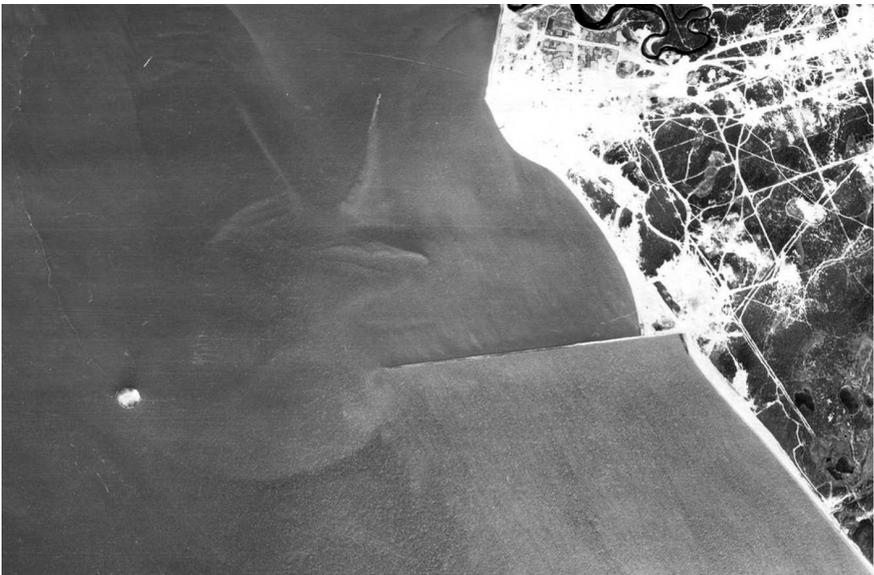


Рис 8.3. Остатки шпунтовой дамбы в проливе Невельского (фрагмент АФС 1973 г.).

Следует отметить, что наряду с ледовыми воздействиями и коррозией металла, шпунтовые сооружения могут быть разрушены при деформациях дна в зоне заглубления шпунта. В качестве примера можно привести разрушение оградительной шпоры временного причала на морской стороне барьерной формы лагуны Чайво (Сахалин). Мощность динамического слоя донных осадков превышала величину заглубления шпунта, которая составляла 4 м, и как следствие сооружение не простояло и 4 месяцев (рис. 8.4, 8.5, цв. вкладка).

Еще одна проблема, к решению которой причастна коррозия, — самопроизвольное разрушение металлических материалов в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой (ГОСТ, 1968).

По оценкам ЮНЕСКО на дне и берегах океана и морей по всему миру разбросано более 3 млн остатков кораблекрушений (UNESCO, 2008). А согласно первой в мире базе данных о затонувших кораблях, от 8000 до 9000 затонувших судов могут потенциально загрязнять окружающую среду (Michel et al., 2005).

Не касаясь вопросов потенциального экологического риска для уязвимых морских экосистем и проблем, связанных с локальными изменениями свойств донных осадков, отметим, что в береговой зоне Дальнего Востока находятся остатки нескольких сотен затонувших судов. Основное количество находится в акватории залива Петра Великого, однако и в береговой зоне Сахалина и Курильского архипелага только за последние 40 лет было затоплено и брошено около 200 судов разного типа. На примере акватории г. Корсакова можно представить, как сама собой решается проблема утилизации судовых корпусов (рис. 8.6, цв. вкладка). Справедливости ради заметим, что надстройки обоих плавучих кранов были срезаны и, даже при отсутствии сильного волнового воздействия, за 20 лет корпуса судов были практически разрушены. На открытых побережьях о следах бывших катастроф свидетельствуют разве что остатки паровых котлов и двигательных установок. Столь неприятная глазу приморского жителя картина с погибшими кораблями имеет отношение, главным образом, к рекреационным ресурсам береговых зон.

Деградация рекреационных ресурсов побережья Южного Сахалина — процесс, на наших глазах, увы, завершающийся. Мало того, что потеря низких морских террас и системы дюн в результате размыва существенно понижает рекреационную емкость прибрежных

территорий, так еще и добыча общераспространенных полезных ископаемых на побережье превратила ранее живописные места в пустыню.

Общая площадь обводненных карьеров на морских террасах непригодных ни для какого вида использования составляет уже около 4,5 км². Ни в одном городе Сахалина, расположенном на побережье, нет городских пляжей. Единственная набережная, причем в системе берегозащитных решений существует только в г. Невельске. А ведь именно набережная — «лицо» приморского города. Необходимость защиты транспортных коммуникаций и селитебных территорий также обусловила потерю рекреационной емкости прибрежных территорий.

Гораздо более существенное влияние на развитие береговых морфолитосистем оказывает безвозвратное изъятие наносов из береговой зоны (Игнатов, 2005), которое на юге Сахалина составило около 10 млн м³ в зоне пляжа и авантюн (Афанасьев, 2020). Учитывая морфолитодинамические механизмы развития берегов, это эквивалентно потере в результате размыва примерно 3 км² низкой аккумулятивной прибрежной равнины, что, собственно, уже и произошло. Учитывая практически повсеместное распространение торфяников на низких прибрежных террасах, процесс их размыва с точки зрения углеродного баланса можно охарактеризовать как процесс высвобождения углерода.

Неожиданно значимым негативным последствием берегового антропоморфогенеза является *стабилизация устьевых зон лагунных проливов*, весьма обычная в развитых странах, и дноуглубительные работы по сохранению фарватерных зон в лагунных проливах. Дело в том, что при быстром перемещении лагунных проливов происходит формирование каскада внутренних приливных дельт (рис. 8.7, цв. вкладка). На Сахалине это явление наблюдается в самой южной из крупных лагун на северо-востоке Сахалина и лагуне оз. Невское, расположенной в вершине залива Терпения (Афанасьев и др., 2019). Площадь приливных дельт лагуны Лунская, сформированных в период с 1952 по 2018 г., составила 1,038 млн м², а соответственно объем отложений в этих образованиях — 1,557 млн м³ (рис. 8.8, цв. вкладка). Приливные внутренние дельты лагуны Лунская, существовавшие до 1952 г., за 65 лет увеличили свою площадь за счет зарастания и аккумуляции взвешенных наносов растительностью примерно в 1,3 раза. Установленные при бурении низкой лагунной

террасы мощности голоценовых эстуарно-лагунных отложений составили здесь 22–24 м. Это вполне объяснимо, учитывая, что скорость накопления эстуарных осадков максимальна как для океана, так и для земной поверхности и 2/3 стока речных наносов оседает здесь (Лисицын, 1994).

Считается, что в геологическом масштабе времени скорости седиментации компенсируются суммарными скоростями тектонического опускания крупных осадочных бассейнов (Долотов, 2010). Мощность неоген-четвертичных осадков крупнейшей на ДВ осадочного эстуарного бассейна р. Амур достигает 5–8 км. Это вполне объяснимо учитывая, что твердый и растворенный сток Амура составляет 14 млн т/год, и что он практически весь остается в осадочных системах Амурского лимана и прилегающих акваториях (Колтунов, 2009). Уменьшение водности и минерально-органического стока Амура в результате развития экономики Китая, вероятно, изменит этот баланс.

В лагуне оз. Малое Невское за счет перемещения проливов с 1952 по 2013 г. сформировалась субэральная поверхность приливных дельт площадью около 813 тыс. м² (рис. 8.9, цв. вкладка). Бурение показало, что мощность алевропелитовых осадков, на которых залегает 40–50-сантиметровый слой осокового торфа, составляет около 50 см. Мощность слабосортированных песчано-галечных наносов, определяемых как осадки собственно внутренней дельты в этой мелководной лагуне, не превышает 1 м, и общий объем внутренних дельт, образованных за 60 лет, составляет 1220 тыс. м³. Прибрежные водно-болотные угодья, известные как «экосистемы голубого углерода», входят в число наиболее эффективных систем биосеквестрации на планете (Ouyang, LEE, 2014; Najjar et al., 2018; Villa, Blanca; 2018; Spivak et al., 2019).

Изучение разрезов дельтовых отложений, образованных за период с 1952 по 2013 гг. показало, что за это время в них было накоплено около 36 тыс. т $C_{орг}$ или 581 т/год, или 715 г/м²/год, что в разы выше скорости накопления $C_{орг}$ на северных равнинах (Botch et al., 1995). Вполне безобидная, на первый взгляд, деятельность по поддержанию судоходства в прибрежных водах препятствует связыванию в естественных экосистемах двуокиси углерода из атмосферы, что усугубляет ситуацию с глобальным потеплением. *Следует отметить, что темпы наблюдаемого повышения уровня моря не являются критической угрозой для приливных эстуарных и прибрежных водно-болотных угодий* (Леонтьев, Афанасьев, 2016; Kirwan et al., 2016).

Перспективы освоения побережья холодных морей Северной Пацифики связаны, главным образом, с *функционированием Северного морского пути* и усложнением инфраструктуры нефтегазового комплекса. Поэтому очень своевременно разработана концепция динамики береговой зоны при переходе среднесуточных температур к минусовым значениям. Исследования показали, что в развитии берегов арктических, субарктических и умеренно-холодных морей в осенне-зимний период в общем случае установлены три морфолитодинамических стадии. В начале происходит промерзание пляжа, формирование распластанных наледей и усиление размыва берегового уступа из-за ослабления волногасящих свойств пляжа в холодный период. Через несколько недель после начала промерзания отложений пляжа формируются устойчивые краевые береговые наледи, увеличивается крутизна берегового профиля и, соответственно, глубины в приурезовой зоне, что приводит к увеличению высоты заплеска и укрупнению гранулометрического состава отложений. С формированием ледового покрова приливо-отливные течения под припайными льдами продолжают переформирование подводного рельефа. Величины деформаций на бухтовых берегах могут достигать 1,5–2,0 м.

Все крупные российские нефте-газовые проекты ориентированы на экспорт, что объективно повышает уровень требований к экологической безопасности проектов. Однако специфика геопро пространственного положения объектов, например, заводов СПГ существенно усложняет эту задачу. В первую очередь речь идет о том, что заводы СПГ расположены на побережье, а конструкции, с которых производится отгрузка, находятся непосредственно в высокоэнергетической береговой зоне. Не менее важен тот факт, что в перспективе значительная часть проектов будет реализовываться в высоких широтах, в регионах, где механизмы морфолитодинамики береговой зоны слабо изучены (Afanasiev, Ignatov, 2018).

Основные проблемы проектов на ДВ связаны с *воздействием на водные биологические ресурсы* (ВБР). Так как особенности минерального состава твердых пород, извлекаемых при дноуглублении, практически не учитываются, площадь губительного воздействия на донные организмы от перекрытия поверхности дна рыхлыми осадками в результате дампинга грунта при реализации проекта первого в России завода СПГ в пос. Пригородном (Сахалин) оказалась в сотни раз выше расчетной (Афанасьев, Игнатов, 2009). Следует отметить,

что в районе дампинга скорости течений в придонном слое дают возможность мобилизации и переноса более 40% сброшенного грунта. Последние данные мониторинговых работ СахНИРО подтверждают продолжающееся до сих пор угнетение донных организмов в зал. Анива. Современное состояние ресурсов приморского гребешка в зал. Анива можно обозначить одним словом — деградация (Результаты..., 2016). Матричная математическая модель выбора места размещения СПГ (Владивосток) также не учитывает особенности пород, слагающих подводный береговой склон, и последствия динамики огромных объемов наносов алеврито-пелитовых фракций, которые будут сформированы в результате дноуглубления и дампинга грунта (Щека и др., 2014). Исследования, проведенные нами на п-ове Ломоносов в районе бухты Перевозной Хасанского района Приморского края, где планируется строительство завода СПГ, показали, что залив Петра Великого обязательно столкнется с подобным воздействием. На береговом склоне, где планируются строительство отгрузочного терминала и дноуглубительные работы, нами были обнаружены глины легко размокаемые в морской воде. Отсутствие в проекте анализа прибрежной циркуляции, применительно к процессам переноса и осаждения взвешенных наносов, не позволяет объективно оценить особенности осадконакопления данного типа в акватории залива и его воздействие на биологические ресурсы. Использование двумерных моделей для определения области распространения взвешенных частиц не соответствует потребностям оценки воздействий и рисков на таком значимом для общества объекте как залив Петра Великого (Проект..., 2016).

Иного свойства ситуация с проектом завода СПГ в районе п-ова Клыкков (Де-Кастри). В береговом уступе сопредельного участка, на площадке нефтеотгрузочного терминала Де-Кастри трубопроводной системы Сахалин–материк, были обнаружены водопроявления, свидетельствующие о глубинной суффозии по вулканическим туфам с образованием неоднородностей плотности и пустот (Афанасьев, 2015). Глубинная суффозия относится к категории опасных геологических процессов, приводящих к ослаблению пород в основании сооружений и коммуникаций и, как следствие, к их повреждению. Район находится в сейсмоактивной зоне, и при сейсмособытиях нагрузки на грунты возрастут многократно. Учитывая, что на территории терминала может одновременно находиться около 200 тыс. т. нефти, примерно столько же, сколько в печально известном танкере

Ехсон Valdez, последствия для биоты Татарского пролива и сопредельных акваторий в случае аварии могут быть катастрофическими. Нами был исследован береговой уступ, ограничивающий с юга и востока площадку планируемого строительства завода СПГ, и прилегающие территории. Современный геолого-геоморфологический облик участка определен формированием в миоцене серий эффузивных образований и последующей их экзогенной переработкой. За последние 6 тыс. лет в результате разрушения берегового уступа высотой до 160 м сформировался бенч шириной до 100 м.

Исследование водопроявлений в породах, являющихся индикаторами возможной суффозии по этим зонам, включало изучение гидрогеологических характеристик вмещающих пород, составление 3D-моделей и ортофотопланов берегового уступа с фиксацией и определением параметров выхода подземных вод и их гидрохимического состава. Установлено более 30 зон с водопроявлениями по всей высоте берегового уступа. Выполненные работы позволили достаточно полно представить геологическое строение берегового уступа и площадки намечаемого завода СПГ. Переслаивающиеся туфы и андезитобазальты, наблюдаемые в разрезе берегового уступа, имеют мощность 2–12 м и субгоризонтальное залегание с незначительным падением в сторону моря. Кроме того, на участках выхода в зону прибоя берегового уступа с легко разрушаемыми геологическими комплексами, либо дезинтегрированным комплексами горных пород дизъюнктивных зон были получены осредненные скорости разрушения берегового уступа, которые могут достигать 7 м/год. Масштабные дноуглубительные работы определяют основные экологические риски при строительстве заводов СПГ на побережье, а низкий уровень научно-исследовательского обоснования и проектно-изыскательских работ является источником технического риска с катастрофическими последствиями для биоты, территорий и акваторий.

На региональном и глобальном уровнях антропогенный морфолито-генез, вероятно, можно связать с изменением климата и уровня моря. Не имея возможности вычленить здесь антропогенную составляющую, мы тем не менее рассмотрим последствия указанных изменений для береговой зоны. Самая распространенная точка зрения — то, что в результате подъема уровня моря происходят размыв аккумулятивных песчаных побережий океанов и отступление суши (Берд, 1990). Однако не все так однозначно. Только в последнее время

при анализе динамики арктических побережий начал учитываться морфогенетический тип берегов. При этом выяснилось, что минимальные перемещения отмечены для кос и баров, а максимальные скорости размыва наблюдаются на берегах равнин, сформированных при спуске озер. Площадь же барьерных островов на побережье моря Бофорта, к примеру, увеличилась в период 1940–2000 гг. на 10% (Gibbs, 2015). Интересно, что барьерные острова на дельтовых побережьях России также стабильны, либо нарастают. При размыве высокольдистых берегов о-ва Ляховский формируются новые аккумулятивные формы, площадь которых составляет примерно 10% от площади смытой низменности, а их объем примерно соответствует объему пляжеформирующей фракции в разрезе берегового уступа (Пижанкова, Добрынина, 2010).

Коренные берега практически не реагируют на современный подъем уровня моря. Так, поселения коренных народов Чукотки и Камчатки в течение среднего позднего голоцена при троекратных повышениях уровня моря на 2–4 м не меняли свое положение на аккумулятивных образованиях, непосредственно примыкающих к коренному берегу и постоянно подпитываемых обломочным материалом из береговых уступов (Афанасьев, Игнатов, 2020).

Накопление наносов в областях унаследованной аккумуляции при усилении размыва берегов, наблюдаемого с 40-х годов прошлого века, установлено нами при анализе динамики аккумулятивных образований Сахалина. То есть бары и косы, не теряющие связи с областями питания, не деградируют, а лишь перестраиваются и даже увеличивают свою площадь как в условиях Субарктики, так и в условиях арктического побережья (Афанасьев, Игнатов, 2020).

Потепления климата на 2–3 °C, которые неоднократно происходили в позднем плейстоцене-голоцене, без сомнения, окажут существенное воздействие на абразионно-аккумулятивные морфолито-системы, изменят интенсивность процессов размыва (Климаты..., 2010).

В настоящее время протяженность берегов с неактивным абразионным уступом в процентном отношении на Охотском море выше, чем на Японском (Афанасьев и др., 2020). Это связано с интенсивным разрушением коренных берегов Охотского моря в теплые периоды голоцена, характеризующиеся более продолжительным периодом «открытого моря» при отрицательных температурах воздуха, когда среднегодовое количество циклов промерзания и оттаивания

при отрицательных температурах воздуха в период открытого моря на заливаемой части бенча и подножия берегового уступа было существенно выше (Афанасьев, 2019).

Резонно предположить, что скорости абразионно-денудационного разрушения скалистых берегов субарктических морей при потеплении климата должны возрасти, и наоборот, в холодных регионах умеренного климата при уменьшении среднесуточного количества циклов промерзания и оттаивания при отрицательных температурах воздуха в период открытого моря — уменьшиться.

Антропогенная трансформация береговых морфолитосистем Северной Пацифики происходит при:

- а) защите территорий и коммуникаций,
- б) строительстве и обеспечении безопасности подводных трубопроводов (проекты «Сахалин-1», «Сахалин-2», «Сахалин-5»),
- в) создании марикультурных хозяйств и прибрежном рыболовстве,
- г) строительстве портов и обеспечении навигационных глубин,
- д) дампинге грунта,
- г) изъятии наносов из береговой зоны.

Антропогенные трансформации твердого и растворенного речного стока, повышения уровня моря и температурного режима, изменяющие интенсивность и даже направленность морфолитодинамических процессов, биопродуктивность и седиментогенез в береговой зоне, а также процессы химического и физического преобразования минералов и горных пород в денудационно-абразионных и аккумулятивных элементах морфолитосистемы, относятся нами к *антропогенным модификациям берегов регионального и глобального уровня в геоморфологическом масштабе времени.*

Глава 9.

АНТРОПОГЕННЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ МОРФОЛИТОСИСТЕМЫ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Растущее антропогенное вмешательство в природу — неизбежность, не требующая особых комментариев. Неоспоримым уже давно является и то, что нерациональное, непродуманное воздействие человека оборачивается катастрофическими изменениями природной среды, отдельных ее компонентов и ландшафта в целом в разных масштабных диапазонах в зависимости как от степени воздействия, так и от места его приложения, определяемого критической уязвимостью наиболее «слабого звена» и триггерным эффектом, запускающим лавинообразный процесс активизации.

«Правильные» технологии, как традиционные, основанные на многовековом опыте, так и современные, опирающиеся на моделирование и расчеты, позволяют достаточно удачно «встраивать» инженерные сооружения в природную среду, направлять и регулировать потоки вещества и энергии, не провоцируя катастрофического бесконтрольного развития природных процессов и позволяя устойчиво функционировать техническим устройствам или сооружениям в рамках собственных пределов жизнеспособности. К сожалению, мощные современные технологические возможности трансформации природных комплексов и успешная реализация отдельных и даже массовых для некоторых регионов и стран форм природно-антропогенного взаимодействия создают иллюзию «вседозволенности», при которой возможно внедрение в природную среду без тщательного и многокомпонентного изучения ее функционирования и прогноза антропогенного развития. В особенности такой подход опасен для территорий с высоким потенциалом природных процессов или территорий со слабой устойчивостью к внешним воздействиям как природного, так и антропогенного характера.

В первом «эшелоне» к таким морфолитосистемам относятся горные, характеризующиеся формальными признаками: а) относительной высотой более 500–800 м, а абсолютной — выше 1000 м; б) глубиной расчленения 500 м и более; в) абсолютным преобладанием склонов ($> 6^\circ$) над субгоризонтальными вершинными и долинными поверхностями ($> 95\%$ площади); г) средней крутизной склонов $> 20^\circ$

(Караваев, Семиноженко, 2019). Горные морфолитосистемы обладают повышенным гравитационным потенциалом для развития как собственно гравитационных склоновых процессов (обвалов, каменных лавин, структурных оползней), так и флювиально-гравитационных (селей, аструктурных оползней) и флювиальных (склоновый смыв различного рода, овражная и речная эрозия). Для горных морфолитосистем характерен кумулятивный эффект экзогенных и эндогенных факторов морфолитогенеза. Горы являются отражением активных процессов в литосфере с высокими скоростями вертикальных и горизонтальных движений, повышающих неустойчивое состояние среды, с периодическими разрядками тектонического стресса в виде землетрясений или извержений. В то же время горы являются климатическими барьерами, воздействующими на региональное и глобальное распределение воздушных масс и соответственно тепла и влаги, их резкую латеральную и вертикальную изменчивость. Синергетический эффект этих составляющих проявляется в интенсивном развитии горных территорий с высокими фоновыми показателями экзогенного морфогенеза и катастрофическими массовыми проявлениями экстремальных гидрометеорологических, тектонических или вулканических процессов.

С определенной долей условности, идеальной модельной территорией для оценки антропогенного воздействия на природные комплексы, трансформацию морфолитогенеза является район проведения Олимпиады-2014. Здесь на ограниченной территории в весьма короткое время (пять лет) осуществлено масштабное и разноплановое воздействие на растительный покров, рельеф, приповерхностный слой горных пород и режим водотоков. Результаты строительства и последующей эксплуатации сооружений в течение более пяти лет позволяют сделать обоснованные выводы о четкой связи между качественными и количественными изменениями природных комплексов и активизацией природных процессов, направлениями, скоростями и объемами морфолитодинамических потоков.

В качестве ключевых площадей для иллюстрации этих утверждений выбрано два участка, характеризующихся существенно различными условиями в пределах единой речной долины (р. Мзымта): участок склона хребта Аибга, включающий водосборы правого борта долины с высотным диапазоном от 500 до 2500 м, и участок пересечения долины с Кепшинским хребтом, и абсолютными отметками 160–1100 м (рис. 9.1, цв. вкладка). Эти участки отличаются не только

естественными условиями, но и типами антропогенного воздействия. В первом случае это объекты горнолыжного курорта с массовым площадным воздействием на горные склоны. Во втором это транспортная инфраструктура — линейные сооружения автомобильных и железной дорог, расположенная в днище долины и воздействующая на поверхностные процессы (сооружения в русле р. Мзымта, на прилегающих участках склонов и долин притоков — мосты, эстакады, насыпи и пр.) и на процессы, связанные с горными массивами (тоннели, дорожные полки и пр.).

Изменения морфолитодинамики в результате комплексного освоения склонов долины р. Мзымта

Природно-антропогенные факторы морфолитодинамики. Бассейн верхнего течения р. Мзымта, расположенный в осевой зоне Западного Кавказа, обладает высоким потенциалом для развития опасных экзогенных процессов, обусловленным высококонтрастным рельефом, слабоустойчивым коренным субстратом и большим объемом рыхлого чехла, значительными слоями осадков и сейсмичностью. Крупные селевые и оползневые катастрофы, наблюдавшиеся здесь в геологическом масштабе времени, являются серьезным рельефообразующим фактором, проявляющимся относительно редко и связанным с крупными гидрометеорологическими или сейсмо-тектоническими событиями. Сели небольших объемов обычны для большинства водотоков в бассейне р. Мзымта. Устойчивое состояние такой морфолитосистемы поддерживается естественным растительным покровом, обеспечивающим распределение поверхностного, внутритпочвенного и подземного стоков.

Активное строительство на склонах хребта Аибга начиная с 2006 г. привело к масштабным преобразованиям естественных ландшафтов и кардинально изменило режим формирования стока на ручьях разной водности, дренирующих левобережную часть водосбора реки в районе пос. Эсто-Садок и выше по течению, вплоть до впадения р. Пслух. Перестройка площадей малых водосборов, произошедшая в связи с сооружением объектов инфраструктуры, многократное увеличение и искусственная локализация поверхностного стока привели к резкой активизации рельефообразующих процессов, в частности селевых. Следы их проявления (несортированные наносы по днищам небольших долин и лотков, поваленный лес, глубокие врезы, сопро-

вождаемые оползнями) регистрируются по всей периферии отрога хребта Аибга, на северной оконечности которого стоит Горная олимпийская деревня (абс. высота 1100–1250 м).

Развитие селевых процессов на территории исследований определяется благоприятным сочетанием ландшафтных, геоморфологических, климатических и геологических факторов (Осипов и др., 2011; Казаков и др., 2013). В естественных условиях в постоянном (с ежегодной активизацией) и короткопериодичном (до первых десятков лет) режиме здесь развиваются обвально-осыпные, лавинные, солифлюкционные процессы в верхних ярусах рельефа и оползневые, селевые и эрозионные — в средних и нижних. При этом площадь регулярно поражаемых территорий не превышает первых процентов от общей площади. Морфологически выраженные оползневые и селевые формы занимают значительную часть площади долины р. Мзымта и водосборов ее притоков, прилегающих к тестовому полигону (Шварев, 2009). Очевидно, что крупнейшие из таких систем оказывали в голоцене значительное влияние на аккумулятивно-денудационный режим, создавая плотины в днищах с подпрудными водоемами, аккумулирующими водные и кластические массы. Мощнейшие из таких парагенетически взаимосвязанных и «синдинамичных» (по Федоренко, 1988) систем перекрывают днища долин рек Мзымта и р. Пслух (Шварев, 2009) и обусловлены сильными землетрясениями (Шварев, 2015). К сейсмогенерирующим структурам в районе исследований относятся Мзымтинский, Бекишейский и Аибгинский активные разломы (Борукаев, Буртман, 1964; Шолпо и др., 1993), два из которых непосредственно пересекают тестовый полигон. Для Аибгинского разлома установлена величина вертикальных смещений в голоцене около 80 м (Несмеянов, 1999). В оценке режима крупнейших оползневых и селевых катастроф можно опираться на данные, свидетельствующие о нескольких генерациях оползней (Осипов и др., 2013), смещение которых происходило 4 раза за последние 4 тыс. лет (Овсученко и др., 2016), что соответствует тектонической активизации с периодом 1 тыс. лет. Не является исключением и водосбор ручья Сулимовский, правобережные притоки которого начинаются в крупных оползневых цирках, а основное русло обладает типичными для воздействия селей чертами рельефа: транзитный селевой лоток в верхней части, терраса и конус выноса в устье. Кроме единичных и редко периодических крупнейших проявлений селевых и оползневых систем, пра-

ктически все долины притоков р. Мзымта характеризуются как селеопасные в естественном состоянии (Казаков и др., 2013). Количество селей (от нескольких в год до одного раза в несколько десятилетий) коррелирует с объемом перемещенного материала, демонстрируя преобладающую зависимость от гидрометеорологических условий (Казаков и др., 2013). В последнее время частота схода селей возросла, что связывается с антропогенным воздействием, в частности, неконтролируемым складированием строительных материалов и отвалов грунта при строительстве (Казаков и др., 2013; Маций и др., 2018). Очевидно, что значительное пространственное развитие и увеличенная частота проявлений в последнее время как селей, так и других типов экзогенных процессов не сводится только к одной этой причине, а объясняется комплексной антропогенной трансформацией территории.

Сравнительный анализ антропогенной нарушенности и активности экзогенных процессов за период 2006–2019 гг. Для выяснения степени воздействия антропогенных нарушений на активизацию рельефообразующих процессов проведен их сравнительный анализ на основе сопоставления материалов дистанционного зондирования: 1) ортоаэрофотоснимков и ЦМР на основе лазерного сканирования (рис. 9.2а-б, цв. вкладка), выполненных в 2006 г.¹; 2) материалов космических съемок высокого разрешения 2019 г. (рис. 9.2в, цв. вкладка) (сервисы Google и Yandex).

Антропогенная нарушенность. По состоянию на 2006 г. на территории тестового полигона антропогенное воздействие (рис. 9.3б, цв. вкладка) затронуло около 5% площади (рис. 9.4г, цв. вкладка) и было распределено неравномерно с максимальной нарушенностью в западной части полигона, где на тот момент уже функционировали объекты горнолыжной инфраструктуры комплекса «Альпика-сервис». Наибольшая доля среди трансформированных площадей приходилась на вырубки, занимающие около их половины, а также старые дорожные полки, полностью закрытые древесной растительностью и не обладающие видимым потенциалом воздействия на активизацию экзогенных процессов. Остальные элементы измененного почвенно-растительного покрова и рельефа охватывали менее 1% всей площади (Шварев и др., 2020, 2021).

¹ Используются данные съемки ООО «Инжгео», г. Краснодар.

К 2019 г. антропогенная трансформация продвинулась в верхние (южные) участки полигона (в основном в развитие инфраструктуры «Альпика-сервис») и на восток, где построены объекты курорта «Роза Хутор» (рис. 9.3д, цв. вкладка). Площадь измененных ландшафтов увеличилась в 5,5 раза (с 1,27 до 6,89 км²) (рис. 9.4б, цв. вкладка) и достигла 27% от всей территории (рис. 9.4в, цв. вкладка). А если оценить увеличение трансформированных площадей по бассейну ручья Сулимовский и его правого притока, то разница составит в 40–45 раз (см. рис. 9.4в, цв. вкладка). При этом произошло резкое количественное увеличение (до 30 раз) по отдельным типам антропогенных нарушений (открытый грунт) (Шварев и др., 2020, 2021).

Динамика экзогенных процессов. В 2006 г. из активных проявлений процессов на территории полигона были представлены только селевые русла, занимавшие около 0,03% и комплексный склоновый снос (поверхностные оползни-сплывы, осыпи, мелкие эрозионные врезы) \approx 0,07%, в сумме составлявшие 0,1% от его общей площади (см. рис. 9.4в, цв. вкладка).

К 2019 г. активизация экзогенных процессов привела к расширению (до 7 раз) площадей с интенсивной денудацией (см. рис. 9.4в, цв. вкладка), суммарно достигших 0,8% от площади тестового полигона, а по бассейнам ручья Сулимовский и его правого притока до 1,3 и 4% соответственно (рис. 9.4г, цв. вкладка).

В целом можно констатировать, что антропогенные изменения, охватывающие 25–30% территории (весь полигон и бассейн ручья Сулимовский), при данных типах и параметрах воздействия и природных условиях вызывают активизацию ЭГП на 0,8–1,3% площади; а около 50% (водосбор правого притока) — приводят к возрастанию пораженности до 4% площади (рис. 9.5, цв. вкладка).

Изменения характеристик поверхностного стока. Освоение территории значительно изменило характеристики поверхностного стока воды². Они для территории полигона по состоянию на 2006 г. составляли 0,2 для \approx 60% территории, занятой лесом, и \approx 0,3 для остальной части (\approx 40%), преимущественно с луговой растительностью, при незначительной (\approx 0,3%) доле территории с коэффициентом 0,5 (открытый грунт) и \approx 0,08% — с коэффициентом 0,9 (дороги с твердым покрытием). К 2019 г. доля территорий с коэффициентом

² Коэффициенты стока для основных типов антропогенных трансформированных территорий использованы с учетом усредненных характеристик (Critchley, Siebert, 1991; Ray et al., 1992).

стока $\approx 0,9$ (твердое покрытие) возросла до 2,4% от общей площади, $\approx 0,8$ (комплексная застройка) — до 2,2%, $\approx 0,5$ (открытый грунт) — до 8%, а $\approx 0,3$ (луговая растительность), с учетом многочисленных вырубок и просек в лесном массиве, — до 50–52% территории. Доля территорий с минимальным коэффициентом стока $\approx 0,2$, таким образом, сократилась до $\approx 35\%$, а средний коэффициент поверхностного стока, рассчитанный для всей территории тестового полигона, возрос в 2 раза — с 0,23 до 0,46. По сути, это послужило основным триггером активизации экзогенных процессов и роста увеличения повторяемости формирования селей.

Детальный анализ причин активизации селей. Часть исследуемой территории в бассейне ручья Черный, правого притока ручья Сулимовский, особенно интересна для анализа непосредственных причин и последствий антропогенного воздействия на морфолитогенез в свете максимального относительного прироста трансформированности (более 50%) и пораженности (4,1%) (см. рис. 9.4в, цв. вкладка).

Анализ дистанционной информации — ортофотоснимков и ЦМР — выявил пространственно взаимосвязанный комплекс эрозионно-селевых процессов, активизация которых обусловлена антропогенной деятельностью. Исследуемый участок можно подразделить на три сегмента: 1) верхний, в пределах которого сток с площади, занимаемой горным курортом «Роза Хутор», концентрируется инженерными сооружениями и отводится в естественные русловые формы; 2) средний, в пределах которого сток осуществляется естественным способом в русле притока ручья Сулимовский, и 3) нижний, где сток искусственно перераспределяется с локализацией под мостовым переходом и отводом вдоль склона долины.

В пределах верхнего сегмента сток в вершину притока ручья Сулимовский осуществляется двумя путями: а) в западной части сток локализован водопропускным сооружением под дорогой; б) в восточной части определяется случайным переливом с полотна автодороги. Несоответствие водопропускных сооружений объемам стока в первом случае приводит к размыву водобойного колодца над водопропуском и габионного крепления склона под водопропуском. Во втором случае случайный сброс вод вдоль полотна автодороги приводит к размыву укрепления откоса и русловым врезам, которые, сливаясь ниже откоса, концентрируются вдоль подпорной стенки с ее частичным разрушением.

В пределах среднего сегмента русла суммируемый сток провоцирует интенсивную глубинную эрозию, сопровождаемую боковыми размывами, блоковыми оползнями и сплывами. Значительный объем размываемого материала аккумулируется в нижней части сегмента участка перед мостом. Мостовой переход в верхней (по течению) части нарушается ударным воздействием селевых потоков и сопровождающими врезание русла оползнями. Боковой водоотвод, предназначенный для перераспределения стока, находится в подвешенном состоянии и не осуществляет запроецированных функций.

В пределах нижнего сегмента локализация стока под мостовым переходом провоцирует развитие глубинной эрозии, оползней и селей ниже по течению от моста. Основное русло подрезает основание моста, а боковые отвершки приближаются к полотну автодороги.

Активизации эрозионно-селевой деятельности способствовало не только увеличение объема поверхностного стока и его концентрация в верхней части русла, но и углубление местного базиса эрозии на уровне полки дорожного полотна. На этом уровне отмечаются остатки селевого конуса выноса частично расчищенного, а частично прорезанного более поздней эрозией.

По результатам наземных исследований (рис. 9.6, цв. вкладка) выявлены причинно-следственные связи между активизацией процессов и антропогенной деятельностью. Определены основные факторы антропогенного воздействия на активизацию процессов:

- 1) целенаправленная (планируемая) концентрация стока водосборными сооружениями;
- 2) случайная концентрация стока дорожной сетью и другими инженерными сооружениями;
- 3) увеличение поверхностного стока из-за твердого искусственного покрытия и снятия естественного почвенно-растительного покрова;
- 4) подрезка склонов дорожными полками и выемками, а также горнолыжными трассами;
- 5) водонасыщение оползнеопасных склонов из-за перераспределения стока.

Стабилизация ситуации в отношении эрозионных процессов зависит прежде всего от восстановления баланса между допустимым объемом концентрированного стока и параметрами «принимających» форм руслового рельефа с сохранением устойчивости их от размыва: 1) распределение и рассеяние стока в фильтрующие сооружения вме-

сто концентрации в водосбросах; 2) компенсация энергии концентрированного стока в специальных водобойных сооружениях и вертикальное понижение устьев сброса до устойчивых принимающих русел с выработанным профилем. Для гравитационных процессов компенсации должны сочетать: 1) восстановление механической устойчивости склонов (из-за разгрузки основания дорожными врезами и дополнительной нагрузкой насыпями); 2) устранение повышенного обводнения оползневых массивов и эрозионной подрезки оснований оползней из-за неконтролируемого стока. Вопросы инженерной защиты должны решаться на территориальной, бассейновой основе, вне границ отдельных сооружений, форм рельефа и активных проявлений процессов с учетом комплексного географического подхода.

Изменения морфолитодинамики в русле р. Мзымта в результате транспортного строительства

Природно-антропогенные факторы морфолитодинамики. В морфоструктурном отношении рассматриваемый участок представляет собой антиклинальное поднятие, прямо выраженное в рельефе в виде горной асимметричной гряды (Кепшинского хребта) субширотного (ЗСЗ) «кавказского» простираения, сопряженное с крупной взбросонадвиговой структурой (системой Монастырского разлома). Монастырский разлом двумя субпараллельными ветвями обрамляет с юга поднятие Кепшинского хребта, а с севера антиклинально-надвиговая зона хребта ограничена компенсирующим тектоническое поднятие Кепшинским сбросом (рис. 9.7).

На последнем этапе в плейстоцене и голоцене структура продолжает активно развиваться, о чем свидетельствует локальное воздымание всего комплекса четвертичных террас р. Мзымта (Несмеянов, 1999). Наиболее молодым из деформированных по Монастырскому разлому геоморфологических уровней является воронцовский, увязываемый с одновозрастной шахейской морской террасой возрастом в 70–110 тыс. лет (Несмеянов, 1999). Амплитуда вертикального смещения воронцовского геоморфологического уровня по разлому предположительно составляет 40 м, т.е. скорость вертикальных смещений за этот период могла составить 0,6 мм/год (Овсяченко и др., 2013).

Поднятие Кепшинского хребта, отражая структурные особенности тектонической зоны, имеет хорошо выраженную асимметрию с крутым ЮЮЗ склоном, сформированным на фронте взбросо-

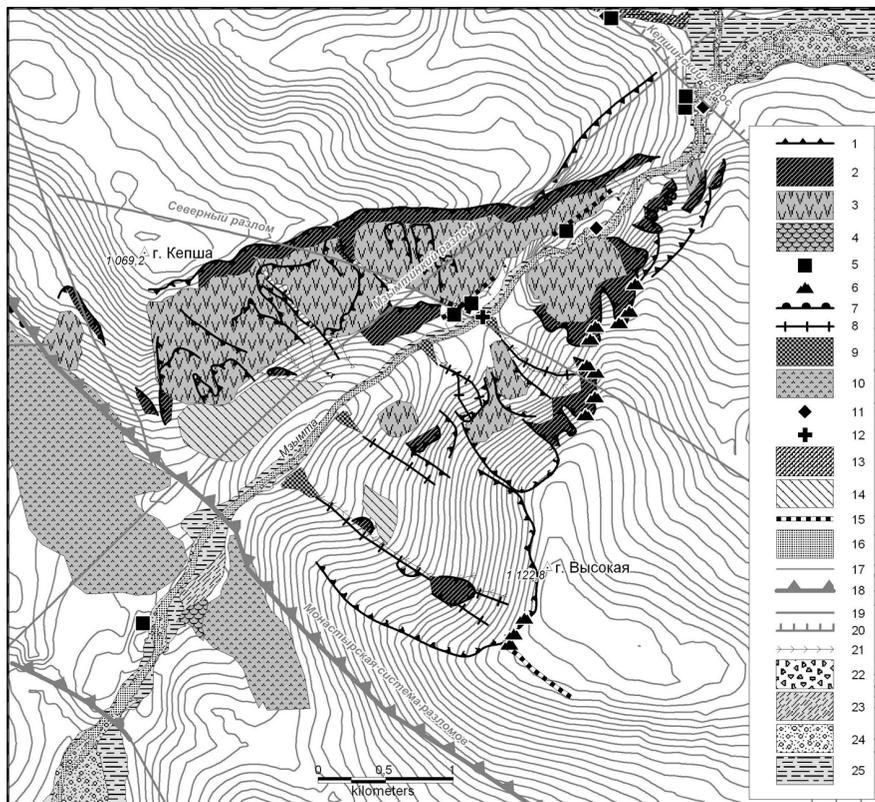


Рис. 9.7. Геолого-геоморфологическая схема ключевой площади № 2

1 — бровки комплексных денудационных уступов; 2 — обвально-осыпные стенки срывов блоковых оползней; 3 — блоковые оползни и отседания различных генераций; 4 — селевые конусы выноса; 5 — отдельные блоковые отседания; 6 — скальные останцы на бровках срыва оползней; 7 — обвальные уступы; 8 — крупные каменно-лавиновые лотки; 9 — каменно-лавиновые шлейфы; 10 — коллювиальные шлейфы; 11 — отдельные обвалы; 12 — обвальный завал в русле р. Мзымта; 13 — днища речных долин нерасчлененные; 14 — фрагменты песчано-гравийных деформированных террас неясного генезиса; 15 — тектонические и гравитационно-тектонические рвы; 16 — русло р. Мзымта; 17 — изогипсы (проведены через 10 м); активные разломы; 18 — Монастырский взбросоход; 19 — разрывные нарушения с неясной кинематикой; 20 — Кепшинский сброс; 21 — небольшие селевые лотки; 22 — небольшие селевые шлейфы; 23 — сегменты низких террас р. Мзымта; 24 — пойма р. Мзымта; 25 — днище долины р. Мзымта

надвига, и пологоступенчатым ССВ склоном в его тыловой части, осложненным сбросовыми деформациями Кепшинского разлома. Долина р. Мзымта пересекает зону поднятия в виде типичного антецедентного ущелья, в пределах которого днище долины сужается местами до ширины русла (первые десятки метров). За пределами ущелья днище долины резко расширяется, появляется комплекс пойменных и надпойменных террас, а русло приобретает характер свободного меандрирования.

Морфоскульптура и комплекс экзогенных процессов теснейшим образом связаны с тектонической активностью участка. Основные черты морфоскульптуры сформированы в условиях эрозионно-аккумулятивной деятельности р. Мзымта на фоне надвигово-антиклинального воздымания Кепшинского хребта.

Для участка в целом можно выделить три сектора: юго-западный, центральный и северо-восточный. Центральный участок — собственно антецедентное ущелье, характеризующееся ромбовидной в плане формой со смещением наиболее широкой части к южной периферии, что связано со структурно-тектонической асимметрией, вызванной осложняющим южное крыло антиклинали Монастырским взбросонадигом. Северо-восточный — ступень на входе долины р. Мзымта в пределы антиклинали, обусловленная сбросом на северном крыле и морфологически выраженная слившимися широкопойменными днищами долин р. Мзымта и Кепши. Юго-западный — ступень на выходе долины р. Мзымта в пределы лежащего крыла Монастырского взбросонадвига. Здесь днище долины вновь, как и выше центрального антецедентного участка, расширяется, а русло свободно меандрирует.

Пространственная зависимость морфоскульптуры от тектонического строения сопрягается с временной зависимостью: явно выраженной тектонической периодичностью активизации экзогенеза. Поскольку тектонический режим территории отличается высокой сейсмичностью и соответственно существенной импульсной составляющей, то и в развитии экзогенных процессов наблюдается неравномерность, связанная не только с климатическими условиями, но и сейсмическим режимом.

На крутых склонах антецедентной долины развиты многочисленные блоковые оползни, сплошной полосой на протяжении 2,5 км при ширине от 200 до 550 м, сопряженные с селевыми и каменно-лавиновыми врезами и конусами, обвальными уступами и шлейфами. Характерно, что значительное число временных русел имеет прямолиней-

ные очертания и ориентировано ортогонально или (реже) диагонально по отношению к долине, отвечая, по-видимому, разрывным нарушениям. В средней части antecedentного участка долины русло р. Мзымта частично перекрыто крупноглыбовым коллювием, сочетающимся с развитием отсевших субвертикальных блоков высотой до 20–30 м над руслом по правому борту долины с субвертикальными зонами смещения, параллельными руслу и, очевидно, связанными с Мзымтинской тектонической зоной, «антикавказской» (ориентированной поперечно основным структурам Кавказа) (рис. 9.8, цв. вкладка).

Субпараллельные трещины «антикавказского» простираения определяют расчленение склона селевыми и каменно-лавиными лотками, а в сочетании с поперечными трещинами северо-восточного простираения — формирование отседающих, оползающих и обваливающихся блоков. Северо-восточное направление трещин соответствует простираению Мзымтинского разлома, определяющего направление русла реки. Очевидно, основная зона разлома проходит в районе русла и ближе к правому борту, о чем свидетельствует преобладание здесь блоковых сейсмогравитационных образований над вторичными селевыми и осыпными, свойственными левому борту.

Центральный обвальный завал в русле р. Мзымта (см. рис. 9.7), расположенный в осевой зоне антиклинали, сопряжен с узлом на пересечении Мзымтинского и Северного разломов. Этот завал — один из наиболее сохранившихся из молодых. Следы других завалов в русле, более или менее перемытых, наблюдаются на всем протяжении antecedentной долины. Катастрофические обвалы неоднократно служили естественными запрудами. Следы одной из таких запруд, связанной с обвалом, произошедшим около 2,1–2,3 тыс. лет назад, обнаружены в нижней (по течению) части каньона (Овсяченко и др., 2013). А последний раз подпрудное озеро было образовано здесь после землетрясения 13 января 1968 г. Оно имело глубину до 18 м и существовало в течение 5–7 лет (Янушевич, Островский, 1972).

Сравнительный анализ антропогенной нарушенности и активности экзогенных процессов за период 2006–2019 гг.

Антропогенная нарушенность. Антропогенное освоение территории до сооружения объектов «Олимпиады-2014» на инженерном уровне началось в конце XIX в., когда по правому борту долины р. Мзымта была проложена автомобильная дорога. Дорога представляет собой скальную полку, вырубленную вручную в отвесной

скале, а на одном из отвесных участков пройдена коротким тоннелем с естественным освещением, вентиляцией и без крепежных устройств. Несмотря на кажущуюся эфемерность сооружения, дорога вполне устойчиво работала около 100 лет, хотя работа ее периодически приостанавливалась из-за обвалов или затопления. В последние десятилетия XX в. она окончательно перестала удовлетворять растущим потребностям по пропускной способности и по безопасности. В 1990-х гг. на наиболее опасных участках, на выходе в створ дороги селевых и каменно-лавиновых лотков, а также под обвальными уступами были сооружены защитные бетонных галереи (см. рис. 9.8, цв. вкладка). Для новой трассы, построенной в 2001–2006 гг., был выбран тот же основной способ строительства — косогорный ход по правому борту долины р. Мзымта. Однако параметры современной двухполосной скоростной трассы определили спрямление дороги и уменьшение руководящих уклонов. В соответствии с техническими условиями участок в пределах ущелья был пройден тоннелем длиной 2,6 км через массив г. Кепша (рис. 9.9а).

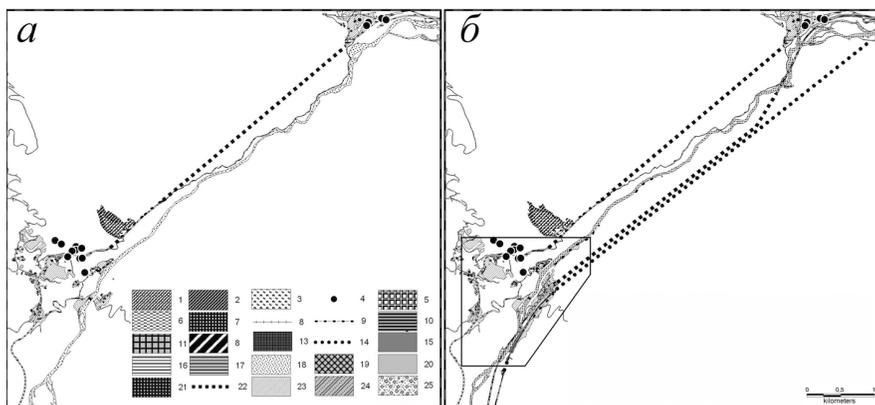


Рис. 9.9. Антропогенная нарушенность зоны ущелья по состоянию на: 2007 г. (а) и 2015 г. (б).

1 — склон песчано-гравийного карьера, подработанный оползнями и эрозией; 2 — эрозионно-оползневой эскарп карьера; 3 — днище карьера; 4 — опоры ЛЭП; 5 — теплицы; 6 — пруды; 7 — капитальные сооружения; 8 — стены и заборы; 9 — трубопроводы; 10 — ж/д полотно; 11 — ж/д мосты; 12 — опоры ж/д мостов; 13 — порталы ж/д тоннелей; 14 — трасса ж/д тоннеля; 15 — ж/д насыпи; 16 — полотно автодороги с твердым покрытием; 17 — полотно старого шоссе (выведено из эксплуатации); 18 — грунтовые автодороги; 19 — а/д мосты; 20 — а/д насыпи; 21 — порталы а.д. тоннелей; 22 — трассы а/д тоннелей; 23 — зоны антропогенного освоения; 24 — берегоукрепляющие сооружения; 25 — пойма р. Мзымта

При создании транспортного обеспечения территории «Олимпиады-2014» был избран кардинально отличающийся от прежнего способ строительства линейных сооружений. Железная и автомобильная дороги проложены долинным ходом, т.е. в днище долины р. Мзымта, с неоднократной сменой бортов долины (рис. 9.9б). В центральной части участка, на пересечении рекой Кепшинского хребта, пройдены два тоннеля: автомобильный длиной 3,2 км и железнодорожный длиной 4,6 км. В северо-восточной части участка автодорожный тоннель отделяется от общего с железнодорожным коридора и выходит на левый борт долины р. Мзымта, где автодорожное полотно пересекает р. Мзымта, располагаясь на вантовом мосту. В юго-западной части автомобильная и железнодорожная трассы раздельными полотнами с использованием насыпей и мостов трассируются вдоль левого края днища долины.

Динамика экзогенных процессов. Строительство крупных инженерных сооружений, сосредоточенных на пространственно ограниченном участке, отличающемся высокой природной изменчивостью и неустойчивостью, с высокой долей вероятности может вызвать активизацию опасных процессов.

В отношении процессов, имеющих существенную долю эндогенного фактора в своем развитии, таких, как сейсмооползни, отседания, можно полагать, что подземные сооружения, ослабившие горный массив, на участках развития гравитационных форм будут способствовать их смещениям и при слабых сейсмических сотрясениях. Замечено, что после сооружения правобережного тоннеля на полотне старого краснополянского шоссе стало появляться больше коллювиального материала. К сожалению, наблюдения эти не носят регулярного характера, что не позволяет сделать обоснованные выводы.

Более очевидными представляются природно-техногенные взаимодействия, фиксируемые в рельефе по материалам дистанционных исследований. К ним относятся как непосредственные воздействия сооружений на процессы, так и сопряженная со строительством и эксплуатацией деятельность. Например, развитие оползней-сплывов, сопряженных с периодической эрозией, наблюдается в песчано-гравийном карьере, расположенном на крутом правом склоне долины р. Мзымта на участке между двумя тоннелями (см. рис. 9.9). Подработка нижней части карьера активизирует склоновые процессы, из-за которых площадь нарушенных земель увеличилась с 2007 по 2015 г. с 0,05 до 0,075 км², т.е. на 50%.

Влияние инженерных сооружений на русловые процессы. Наиболее существенные трансформации морфолитосистемы связаны со строительством автомобильной и железной дорог «долинным ходом» в днище долины р. Мзымта (рис. 9.10).

Сооружение в 2001–2006 гг. правобережной автодороги с мостовым переходом через р. Кепша оказало воздействие на русловые процессы посредством сужения правобережной части поймы. Для компенсации возможных размывов вдоль насыпи выше устья р. Кепши сооружена берегоукрепляющая дамба с двумя косыми шпорами-отбойниками.

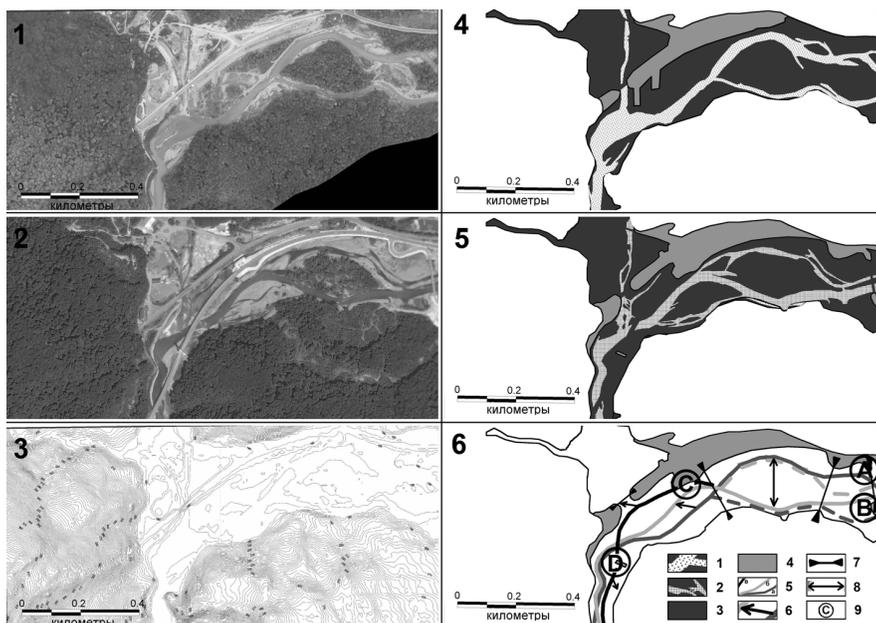


Рис. 9.10. Мониторинг природно-техногенной ситуации в период 2006–2015 гг. в районе устья Ахцу (долина р. Мзымта, между пос. Кепша и Монастырь). Фрагменты: дистанционные изображения: 1 — АФС, 2006 г.; 2 — КС (WorldView — 2), 2015 г.; 3 — ЦМР по данным LIDAR (2006); схемы природно-техногенной ситуации: 4 — 2006 г.; 5 — 2015 г.; 6 — схема динамики русла р. Мзымта, техногенных изменений и предполагаемых опасных участков. Условные обозначения: русло р. Мзымта: 1 — 2006 г.; 2 — 2015 г.; 3 — днище долины р. Мзымта; 4 — искусственные сооружения; 5 — динамика русла р. Мзымта (а — 2006 г.; б — 2015 г.; в — предполагаемое до 2025 г.); б — направление смещения русла; 7 — участки антропогенного сужения днища долины; 8 — участки смены стелы прогиба мандра; 9 — предполагаемые зоны воздействия русловых процессов на технические объекты

Для строительства автодороги к объектам горного кластера «Олимпиады-2014» выше устья р. Кепши вместо этой дамбы сооружена насыпь для вантового моста, а выше по течению — два береговых сегмента подходных насыпей, ориентированных поперек русла. На дистанционных изображениях хорошо видно, что с 2006 г. русло р. Мзымта изменило свою пространственную структуру: если в южной части (на входе в ущелье) русло сохраняет свое положение, то в центральной и северо-восточной частях перестраивается с изменением прогибов меандров на противоположные по направлению (см. рис. 9.10). Сужение поймы подводными дамбами мостового перехода в восточной части участка и спрямление русла под самим мостом заставляет русло прижиматься ниже моста к левому борту, используя старое русло, а ниже, на траверзе устья р. Кепши, отходить к правому борту днища долины. Так что эрозионно опасный участок оказался у западного замыкания насыпи новой автомобильной дороги перед вантовым мостом, где были сняты берегоукрепляющие сооружения, возведенные в 2001–2006 гг. Другим следствием сужения днища поперечными насыпями может явиться повышение скорости и размывающей силы потока в самом створе моста в восточной части участка. Поэтому необходимо предусмотреть постоянную систему наблюдений (мониторинг), сопряженную с оперативным техническим реагированием в случае неконтролируемой эрозии и подмыва основания насыпей. Изменение ширины затапливаемого днища долины относится не только к восточному мостовому переходу. На всем протяжении от этого перехода до устья р. Кепши днище долины сужено насыпями автомобильных дорог, примыкающими к правому борту. Первоначальная ширина поймы, составлявшая около 220–240 м, сокращена вначале на 40–50 м (2006), а затем еще на 40 м. Таким образом, около 1/3 ширины днища на участке протяженностью до 1 км занято искусственными сооружениями. Неизбежно локальное увеличение мощности потока в паводки, увеличение скоростей и соответственно размывающей способности. При этом сохраняется возможность меандрирования в пределах ширины сокращенного днища и изменения локальных участков размыва из-за смещения меандров.

Какие последствия можно при этом ожидать? По данным мониторинга на 2015 г. (Шварев, 2016; Медведев и др., 2016), представлялся наиболее вероятным сценарий смещения со временем основной русловой струи в район расположения опоры вантового

моста, расположенного напротив и несколько южнее устья р. Кепши. Натурное обследование этого участка в 2019 г. показало, что уже через четыре года прогноз начал оправдываться (рис. 9.11, цв. вкладка).

Сравнительный анализ двух ключевых участков позволяет констатировать, что антропогенное освоение долины р. Мзымта за несколько лет (с 2006 г. по н. в.) значительно повлияло на структуру морфолитосистемы, динамику ее элементов, распределение мест, опасных по развитию экзогенных процессов.

На склоновых участках в верхнем течении р. Мзымта произошло кардинальное качественное (по типам воздействия) и количественное (по площадной трансформированности), в среднем более чем в 5 раз, увеличение антропогенной трансформированности до 25–30% территории, а по отдельным бассейнам, таким, как правый приток ручья Сулимовский в районе урочища «Роза Хутор» — до 60%. В свою очередь произошло качественное (по типам процессов) и количественное (по площадной пораженности), в среднем более чем в 7 раз, увеличение пораженности ЭГП, достигшей в среднем 0,8% территории, а по бассейну притока ручья Сулимовского — 4%. Объем эродированного и вынесенного за 13 лет материала из активизированного селевого русла составляет 660 тыс. м³, что в расчете на площадь бассейна дает денудированный слой $\approx 0,8$ м или ≈ 6 см/год.

В днище долины в среднем течении долины р. Мзымта прямые антропогенные воздействия — застройка и отсыпка насыпей — затронули около 1/3 площади, что привело к изменению динамики потока за счет увеличения скоростей и изменения плановой конфигурации русла и морфолитосистемы в целом. При этом следует ожидать не только уже проявляющееся изменение пространственного положения эрозионно опасных участков, но и увеличения интенсивности процессов. Такая тенденция обусловлена вполне очевидными локальными воздействиями на морфолитосистему (сужение сечения потока в паводки с увеличением скоростей и размывающей способности). Однако стоит отметить и менее явные последствия возникающие при нарушении морфодинамических связей. В данном случае можно ожидать, что установленное двукратное увеличение поверхностного стока на склонах бассейна р. Мзымта в верхнем течении приведет к увеличению объемов руслового стока и переформирования русла в среднем и нижнем течении и как следствие активи-

визации наводнений, селей, оползней, нарушению работы и разрушению инженерных сооружений.

Непосредственными причинами активизации селевых процессов являются **ошибки проектирования, строительства и эксплуатации** инженерных сооружений, включающими три главных компонента:

1) некорректные расчеты стока для сети водопропускных и водосточных сооружений;

2) недочеты планирования территории, допускающие неконтролируемый поверхностный сток и его значительное увеличение;

3) недоучет парагенетически взаимосвязанных процессов, интенсификация части которых приводит к саморазвитию комплекса процессов из-за отсутствия инженерно-геологического и морфодинамического мониторинга.

Глава 10.

ТЕПЛОВОЕ ПОЛЕ — НЕОТЪЕМЛЕМОЕ СВОЙСТВО АНТРОПОГЕННОГО МОРФОЛИТОГЕНЕЗА

Техногенные физические поля являются результатом воздействия человека на окружающую геологическую среду и оказывают влияние на формирование антропосферы.

Из всего разнообразия геофизических (природных) и техногенных (искусственных) физических полей наибольшее влияние на городские территории и их жителей оказывают электромагнитное, акустическое (в слышимом и ультразвуковых диапазонах), вибрационное, тепловое и радиационное поля (Трофимов и др., 2016).

Искусственные физические поля возникают на относительно небольшой площади, однако, их интенсивность может в несколько раз превосходить свои естественные аналоги (Жигалин и др., 1984). В таблице 10.1 приведена сравнительная характеристика мощности естественных и искусственных физических полей.

Техногенные тепловые поля

Возникновение антропосферы существенно изменило и тепловое поле поверхности Земли. А появление городов и теплоемкой промышленности повлияло и на микроклимат. Города стали «островами тепла». Все, связанные с этим глобальным явлением, процессы изменили свои динамические характеристики. Наиболее заметны, а иногда и опасны, эти изменения на территориях, где распространены многолетнемерзлые породы. На развитие экзогенных процессов в криолитозоне влияет периодичность промерзания и оттаивания, охлаждения и нагревания верхних горизонтов отложений, специфика свойств промерзающих, мерзлых и оттаивающих пород, временная периодическая изменчивость их напряженного состояния.

Длительное воздействие источников или поглотителей тепловой энергии нарушает температурный режим грунтов на глубину 30–40 м, изменяя температуру горных пород и содержащихся в них подземных вод. Нарушение температурного режима грунтов на территории крупных городов может распространяться до глубин 100–300 м, а в пределах отдельных участков температура пород и под-

Таблица 10.1. Сравнительная характеристика естественных и искусственных полей (Антропогенная геоморфология, 2013)

Вид поля и его характеристика	Единица измерения	Природа поля	
		естественное	искусственное
Температурное, интенсивность	Вт/м ²	10–2...10–1	>1
Динамическое (вибрационное), интенсивность	Вт/м ²	Отсутствует	10–5...10–4
Электрическое поле блуждающих токов, плотность	А/м ²	<10–3	До 10
Сигнал любой природы, оказывающий информационное воздействие на человеческий организм, интенсивность	Вт/м ²	10–12...10–2	

земных вод может превышать фоновую на 10–15 °С. Максимальные температуры характерны для глубоких выработок метрополитена, зон функционирования систем охлаждения с водообменом, участков прохождения теплотрасс и трубопроводов, что влечет за собой изменения физико-механических и физико-химических свойств литогенной основы, прежде всего ее коррозионной активности. Это может повлиять на работу агрегатов, рассчитанных на эксплуатацию в условиях естественных для конкретной территории температур вмещающей среды и подземных вод.

Повышение коррозионной активности грунтов, которые взаимодействуют с различными коммуникациями и объектами инфраструктуры, приводит к уменьшению срока их эксплуатации. Деформация или нарушение целостности инженерных сооружений может привести к утечкам из водонесущих коммуникаций, систем очистки воды, канализации.

Увеличение температуры грунтов и грунтовых вод активизирует жизнедеятельность микроорганизмов, и, соответственно, биокоррозию (Рельеф среды..., 2002).

В табл. 10.2 представлены основные следствия техногенного изменения параметров физического температурного поля антропогенно-геоморфологических систем (Чеснокова, Локшин, 2016).

Доля поглощаемой поверхностью солнечной радиации зависит от ее альбедо. Альбедо лесных ландшафтов, которые покрыты устойчивым снежным покровом, изменяется от 35 до 45%, альбедо заснеженных

Таблица 10.2. Следствия техногенного изменения параметров физического поля антропогенно-геоморфологических систем

Тип антропогенного физического воздействия	Преобладающие рельефообразующие процессы	Изменения в литогенной основе	Влияние на устойчивость системы в целом	Масштаб влияния
Тепловое физическое поле	Термопросадки, термодилатация, пучение, активизация мерзлотных процессов, образование трещин в результате иссушения грунта. Изменение интенсивности процессов, характерных для данной климатической зоны	Увеличение зоны аэрации и сезонного промерзания, деградация многолетнемерзлых грунтов, иссушение грунта, термоуплотнение грунтов	Снижение устойчивости, особенно в зоне влияния тепловых источников	До мезоформ рельефа (изменение микроклимата городом)
Электромагнитное физическое поле	Коррозийное разрушение железобетонных и металлических объектов блуждающими токами; локальные провалы и просадки	Изменение вещественного состава грунта под прямым воздействием электрического тока, усиление коррозионных свойств	Особо опасно для инженерных элементов системы, подверженных коррозии. Влияние на рельеф опосредованное — за счет разрушений конструкций (подземных и наземных коммуникаций) и изменения структуры грунтовых толщ	Точечно или линейно вдоль источника поля

тундр варьируется от 70 до 80%. Альbedo поверхностей с загрязненным и влажным снегом уменьшается и изменяется в диапазоне от 20 до 40%. Альbedo искусственных и естественных покрытий приведено в табл. 10.3. Летом отражательная способность территории определяется типом растительного покрова и степени увлажнения поверхности.

Восприимчивость морфолитосистемы к тепловым воздействиям прежде всего определяется литологией. Восприимчивость грунта к тепловому воздействию может быть проведена по разным свойствам. Так, ранжирование по увеличению коэффициента фильтрации выглядит следующим образом: крупнообломочные породы — песок (разного рода песчаные отложения: аллювиальные, флювиогляциальные) — песчаник — известняк — глина (в том числе и моренного, озерного, морского генезиса).

Восприимчивость грунта к тепловому воздействию (ранжирование приведено по уменьшению величины пучения грунтов) по данным И.В. Чесноковой: озерно-ледниковые суглинки — озерные суглинки — моренные суглинки — озерные супеси — озерно-ледниковые супеси — флювиогляциальные пески — озерно-ледниковые пески — озерные пески — аллювиальные пески (Чеснокова, Локшин, 2016).

По комплексу свойств неустойчивыми к тепловому воздействию являются моренные равнины, сложенные глинами и тяжелыми суглинками, территории с техногенными и органоминеральными отложениями с уровнем грунтовых вод 1–3 м, увлажненные грунты (влажность 11–13%).

Особенности изучения теплового поля Земли с помощью данных дистанционного зондирования

Источниками теплового поля Земли являются процессы, протекающие в ее недрах, и тепловая энергия Солнца. К внутренним источникам тепла относят радиогенное тепло, которое создается путем распада в горных породах изотопов радиоактивных элементов, и тепло, обусловленное различными процессами, протекающими в Земле. Тепловая энергия перечисленных источников, высвобождаемая на земной поверхности в единицу времени, намного выше энергии тектонических, сейсмических, гидротермальных процессов.

Внутреннее тепловое поле отличается высоким постоянством. Оно, практически, не оказывает влияния на температуру вблизи

Таблица 10.3. Альbedo естественных и искусственных поверхностей

Альbedo	Вид поверхности
Менее 10	Туф (гладкотесаная поверхность) черный, сланец (темная глина)
10–14	Асфальт, гравийное покрытие, рубероид (черный)
15–25	<i>Тундры, покрытые лишайниками.</i> <i>Тундры, сформированные сфагново-осоковой растительностью.</i> <i>Тундры, сформированные сочетаниями ерника, багульника, сфагновыми мхами зеленого цвета</i> (Москаленко, Шур, 1973). <i>Разнотравные луга</i> (Павлов, 1984). Мостовая панель плитками, песчаник, щебеночное покрытие, толь блестящий, железо (ржавое), туф (гладкотесаная поверхность) красный
26–40	<i>Тундры с пушицевым покровом.</i> Цемент, рубероид (светлый), кирпич красный обыкновенный, туф (гладкотесаная поверхность) темно-розовый, бетон (светлый), гранит (светло-серый), туф (гладкотесаная поверхность) розово-лиловый, стена деревянная некрашеная
41–60	Черепица ярко-красная, мрамор (белый), кирпич силикатный, туф (гладкотесаная поверхность) голубоватый, известняк, краска белая старая, стена оштукатуренная желтая, штукатурка наружная (светлая)
Более 60	Стена оштукатуренная розовая, стена оштукатуренная голубая, краска белая новая

земной поверхности или климат, так как энергия, поступающая на земную поверхность от Солнца, в 1000 раз больше, чем из недр. Благодаря изменениям солнечной активности температура приповерхностного слоя воздуха изменяется и с некоторым запозданием изменяется температура подстилающей поверхности (Геофизические методы исследования, 1988).

Исследование теплового поля Земли возможно провести с помощью геотермических исследований, для которых используются разного рода тепловизоры, термометры, термоградиентометры, и тепломеры, либо с помощью данных дистанционного зондирования земли в тепловом инфракрасном диапазоне. Факт излучения тепловых инфракрасных волн природными и антропогенными объектами обуславливает возможность их дистанционного зондирования в тепловом диапазоне.

Тепловой инфракрасный диапазон находится в диапазоне длин электромагнитных волн от 3 до 1000 мкм. Однако атмосфера задер-

живает большую часть излучения, поэтому прием теплового излучения датчиками съемочных систем ведется в узких окнах прозрачности атмосферы: 3,0–5,0 мкм и 8,0–14,0 (Балдина, Лабутина, 2021).

Основной характеристикой теплового излучения нагретого тела является его излучательная способность — поток энергии излучения, испускаемого единицей площади поверхности тела за единицу времени. Спектральная излучательная способность связана с его поглощательной способностью. Чем выше поглощательная способность тела, тем больше приходящего солнечного излучения объект поглотит и тем сильнее нагреется, а нагретые объекты активнее излучают электромагнитные волны в тепловом инфракрасном диапазоне.

Для оценки спектральной излучательной способности используют отношение потока энергии, излучаемого данным телом, к потоку энергии, излучаемым абсолютно черным телом. Абсолютно черное тело является понятием теории излучения и означает объект, который полностью поглощает приходящее на его поверхность электромагнитное излучение. Излучательная способность абсолютно черного тела равна 1, для реально существующих объектов значение излучательной способности или коэффициента излучения изменяется от 0 до 1. Среди природных объектов по своей излучательной способности *сажа* приближена к абсолютно черному телу. Минимальными показателями характеризуются *отполированные металлы* (Балдина, Лабутина, 2021).

С повышением температуры происходит увеличение частоты электромагнитной волны испускаемого излучения. Эта закономерность описывается законом смещения Вина (Большая российская энциклопедия). На рисунке 10.1 (цв. вкладка) видно, как значения максимумов излучения для каждой кривой смещаются в область меньших значений длин волн с увеличением температуры объекта. Нахождение преобладающей длины волны дает ценную информацию о том диапазоне инфракрасной тепловой части спектра, который следует использовать для изучения необходимого объекта. Так, для очагов возгорания в лесах с температурой около 800 К, согласно закону Вина, преобладающей длиной волны будет 3,62 мкм, и тогда наиболее подходящим диапазоном для зондирования будет 3–5 мкм.

Объекты, находящиеся на земной поверхности, уникальны. Горные породы, почвы, растительный покров, вода, вследствие, только им свойственных параметров, могут иметь различную излучательную способность даже при одинаковой температуре самого объекта. К этим пара-

метрам относятся цвет, шероховатость, влагосодержание и тепловая инерция материала.

Цвет. Объекты, которые характеризуются более темным цветом лучше поглощают солнечное излучение, которое нагревает объект. Чем сильнее поглощение, тем сильнее нагревается объект и как следствие сильнее излучает тепло в атмосферу. Со светлыми объектами закономерность противоположная — они поглощают меньше электромагнитных волн, их нагревание не столь активно, следовательно, они излучают меньше тепла.

Шероховатость объекта характеризуется соотношением длины волны, которая падает на его поверхность к размеру неровностей этой поверхности. Поверхности, шероховатости которых меньше одной восьмой длины волны, называются гладкими, больше одной восьмой, но меньше половины длины волны — переходными, больше половины длины волны — шероховатыми.

Шероховатые поверхности, например рыхлые грунты, имеют большую по сравнению с плоскими спрессованными грунтами площадь поверхности, которая воспринимает солнечное излучение, соответственно шероховатые грунты нагреваются сильнее и сильнее излучают электромагнитные волны в тепловом инфракрасном диапазоне.

Влагосодержание. Излучательная способность воды очень высока (0,92–0,98), следовательно, содержание влаги в почве или грунте повышает их излучательную способность.

Тепловая инерция — способность объектов поглощать и накапливать тепло. Вода обладает высокой тепловой инерцией, требуется много энергии для того, чтобы нагреть ее, много времени, чтобы вода остыла. Техногенные объекты, которые не имеют собственного источника тепла, характеризуются более низкой тепловой инерцией, они быстро нагреваются и быстро остывают. Это свойство позволяет определять объекты с высокой тепловой инерцией в условиях отсутствия солнечного освещения.

Экспериментальная часть

Подкрепить тезис «Тепловое поле — неотъемлемое свойство антропогенного морфолитогенеза» можно с помощью снимков в тепловом инфракрасном диапазоне. Для работы в рамках экспериментальной части было выбрано 2 города. **Мурманск** — территория

опережающего развития «Столица Арктики», самый большой в мире незамерзающий арктический порт и ключевой транзитный пункт Северного морского пути (см. обложку). *Новый Уренгой* — один из молодых городов Крайнего Севера (основан в 1975 г.), специализирующийся на горнодобывающей промышленности. На долю предприятий, которые находятся в Новом Уренгое приходится 74 % добываемого Российской Федерацией природного газа. Сравнительная характеристика двух городов приведена в табл. 10.4.

Целью исследования снимков в тепловом инфракрасном диапазоне города Мурманска является анализ пространственной статистики и выявление сезонных особенностей тепловых полей рассматриваемой территории. Для исследования на территорию г. Мурманска было отобрано 32 снимка, полученных с 2014 по 2020 гг. В

Таблица 10.4. Сравнительная характеристика Мурманска и Нового Уренгоя

Город	Тепловые поля	Климат	Наличие выхода к морю	Преобладающий тип рельефа, высота
Мурманск	Промышленная застройка и портовая зона характеризуются повышенной интенсивностью теплового излучения в теплые и холодные период года. Кольский залив формирует положительную тепловую аномалию в холодные период	Атлантическо-Арктическая зона умеренного климата	Да	Город расположен на восточном берегу Кольского залива, на 4 террасах. Очень сильны перепады высот. Самая высокая точка города — безымянная сопка на окраине высотой 305,9 м. Самая низкая точка в городе — берег Кольского залива, совпадающая с уровнем моря
Новый Уренгой	Летом температурные аномалии сглажены. Зимой отчетливо выделяются положительные тепловые поля антропогенных объектов	Умеренный пояс резкоконтинентального климата (граничит с зоной субарктического климата)	Нет	Низменность, высота центра города — 40 м

рамках проведения статического анализа было решено рассчитывать следующие поля значений: минимальное значение интенсивности теплового излучения; максимальное значение интенсивности теплового излучения; медиану интенсивности теплового излучения, т.е. значение, которое делит ранжированную выборку набора данных на две равные части, половина значений выборки меньше медианы, половина больше. Расчет медианы позволяет выявить центральные тенденции набора данных.

Отобранные снимки были получены в разные месяцы года, их совместный анализ может «размыть» некоторые сезонные особенности тепловой структуры города. Поэтому всю подборку снимков было решено разделить на две категории: снимки, полученные в период положительных среднесуточных температур; снимки, полученные в период отрицательных среднесуточных температур.

Минимальное, максимальное значение интенсивности теплового излучения и его медиана были рассчитаны для комплекта снимков, полученных в период с положительными и с отрицательными среднесуточными температурами. *Анализ производных пространственных данных многовременных тепловых снимков позволяет выявить объекты, которые характеризуются высокими интенсивностями теплового излучения в разные периоды года и на протяжении всего года, а также границу теплового влияния жилой и промышленной застройки на окружающие природные территории; дает возможность оценить многолетние сезонные тенденции тепловых полей природных и антропогенных территорий, информацию о которых невозможно получить при визуальном сопоставлении материалов разносезонной космической съемки; иллюстрирует тепловую структуру водных объектов, а также может использоваться в качестве дополнительной информации при дешифрировании растительности.*

Визуальный анализ снимков в тепловом диапазоне, полученных со значительным временным интервалом (1985 и 2021 гг.) на примере г. *Новый Уренгой*, который позволит проанализировать преобразования тепловых полей, которые происходят на территориях активного техногенеза. Самый ранний снимок, который удалось найти, датируется 1985 г. Населенный пункт основан в 1975 г., статус города получил в 1980 г., поэтому снимок в тепловом инфракрасном диапазоне 1985 г. можно рассматривать как материал, иллюстрирующий тепловые поля, которые подверглись минимальной техногенной трансформации. Для иллюстрации преобразования тепловых полей

в связи с активным развитием города были использованы снимки, полученные в 2009 и в 2021 гг. (рис. 10.2, цв. владка). Сравнительный анализ отобранных материалов показал следующее.

Снимок, полученный в 1987 г., характеризуется однородной структурой тепловых полей, велика взаимосвязь между величиной теплового излучения и рельефом местности. Более низменные, хорошо увлажненные территории, характеризуются минимальными значениями интенсивности. С увеличением высоты рельефа происходит увеличение интенсивности теплового излучения. На этом снимке отчетливо читается локальный максимум интенсивности техногенного теплового излучения, который приурочен к газокombинату.

На снимке, полученном в ноябре 2021 г., четко прослеживаются некоторые объекты городской застройки и крупные автомобильные дороги. Увеличение интенсивности теплового излучения приурочено к жилой застройке на территории города в междуречье Варенго-Яхи и Томчару-Яха, взлетно-посадочным полосам аэропорта Новый Уренгой, жилому микрорайону на правом берегу реки Ево-Яха, также к промышленным предприятиям. Один из максимумов теплового излучения приурочен к меандру реки Ево-Яхи, который расположен рядом с газоконденсатным заводом, что может косвенным образом свидетельствовать и сбросе нагретых технических вод с предприятия в реку.

Антропогенный морфолитогеоз является причиной техногенных тепловых полей. Полученная дистанционными средствами информация о тепловых полях, наиболее доступна и эффективна, когда речь идет об исследованиях приполярных территорий:

— снимки в тепловом инфракрасном диапазоне, полученные в холодный сезон года, для регионов с выраженной сезонностью (умеренно-континентальный, континентальный и резко-континентальный климат) являются более информативными при решении задач, связанных с изучением экологического состояния антропогенных территорий;

— города, особенно специализирующиеся на энергоемком производстве, со временем формируют тепловые поля, не свойственные природной территории, которую они занимают;

— тепловые снимки позволяют выявить не только отдельные источники тепла, но и общее тепловое загрязнение территории, оказывающее влияние на окружающие город природные ландшафты.

Глава 11.

АНТРОПОГЕННЫЙ КРИОЛИТОМОРФОГЕНЕЗ

Криоморфогенез, по В.Л. Суходровскому, Г.Ф. Гравису и др. (1976), — это рельефообразование, обусловленное совокупностью процессов, сопутствующих физико-механическим и литогенетическим процессам в промерзающих, мерзлых и протаивающих почвах и горных породах, вызванных энергомассообменом при изменениях температуры и переходом ее через точку плавления льда.

Арктическая зона — особая климато-геоморфологическая область, где морфолитогенез определяется наличием (свойствами и состоянием) многолетнемерзлых пород. Формирование антропосферы на этой территории отличается крайней неустойчивостью и изменчивостью свойств геологической среды и необратимостью физико-химических преобразований.

Изменения природных ландшафтов Арктической зоны в результате хозяйственной деятельности происходят на протяжении всего периода освоения территории и представлены: механическими нарушениями и уничтожением почвенно-растительного покрова при разработке, эксплуатации и освоении новых месторождений углеводородного сырья, движении транспортных средств, строительстве, добыче песка, гравия и других ископаемых, создании искусственных покрытий, насыпей, отвалов; вырубке лесов (включая промышленные лесозаготовки, заготовку древесины для местных нужд и расчистку участков при строительстве); антропогенными пожарами; перевыпасом оленей, вызывающим деградацию тундр; а также загрязнением экосистем тяжелыми металлами, нефтепродуктами, органическими соединениями различного происхождения, соединениями азота и серы, радионуклидами и т.д. Наиболее масштабные и глубокие *изменения природного комплекса* нефтегазовая промышленность произвела на территории северной части Западно-Сибирской равнины — Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского (Югра) автономных округов (Антропогенная геоморфология, 2013; Антропогенное воздействие..., 2017; Эколого-геоморфологический анализ..., 2020; О состоянии и об охране окружающей среды РФ, 2021).

По данным И.Л. Чупровой (2006), инвентаризация техногенных воздействий по трассе газопровода Мессояха — Норильск (протяжен-

ностью 263 км) показала, что растительный покров оказался нарушенным на площади, 70 тыс. га (700 км²), из которых 26,8 га, или треть всей площади являются ценными зимними и ранневесенними оленьими пастбищами. На долю сильных нарушений приходится 49%, средних — 27%, слабых — 24%, нарушений, произведенных буровыми работами, — 20 тыс. га (200 км²), отнесенных к сильной степени нарушенности — 40 %, к слабой — 60 %. Нарушение растительного покрова (уничтожение мохово-лишайникового покрова) ведет к изменению температурного режима грунтов и глубин их сезонного оттаивания. Установлено увеличение мощности сезонно-талого слоя на 25–50%, следствием чего явилась активизация мерзлотно-геологических, солифлюкционных процессов. Восстановление нарушенных участков тундры зависит от формы и степени нарушения, экологических условий, исходной растительности (Чупрова, 2006).

Освоение нефтегазоносных месторождений Арктической зоны в течение последних десятилетий сопровождается бурением большого количества скважин, строительством внутривидовых автомобильных дорог, различного рода инженерно-технических сооружений и жилого фонда, а также активным развитием рельефообразующих процессов, поскольку даже незначительного антропогенного увеличения теплового потока в почвогрунты достаточно, чтобы началась деградация многолетнемерзлых пород и неравномерная осадка поверхности.

Экосистемы Европейского Севера отличаются слабой устойчивостью к антропогенному воздействию и крайне медленной скоростью сукцессионального восстановления. Произошедшие значительные изменения геофизиологических условий Европейского Севера за последние 40 лет выражаются в следующем: отступании к северу на десятки километров южной границы и зоны сплошного распространения многолетнемерзлых пород; значительном увеличении мощности несквозных таликов, существовавших до указанного периода; сокращении площади и значительном повышении температуры многолетнемерзлых пород за счет возникновения новых таликов; развитии термокарстовых просадок (Оберман, 1998; Оберман, Лыгин, 2009).

Поселения, предприятия, объекты жилищно-коммунального хозяйства, дороги, аэродромы, военные базы имеют очаговый или линейный характер распространения и приурочены в основном к побережьям Белого, Баренцева и Карского морей. Основные виды локальных антропогенных воздействий, свойственных всему региону:

нарушение растительного покрова при проезде гусеничного транспорта; застройка территории без соблюдения правил и принципов строительства на мерзлых грунтах, сопровождающаяся разрушением многолетнемерзлых пород, их локальным загрязнением горюче-смазочными материалами, тяжелыми металлами и накоплением загрязнителей в сезонно-талом слое (Оберман, 1998; Mazhitova, 2001; Oberman, Kuhry, Oberman, Mazhitova, 2002; Оберман, Лыгин, 2009; Игловский, 2013).

Антропогенное воздействие на многолетнюю мерзлоту приводит к резкой активизации экзогенных процессов.

Сезонное пучение — главная причина деформации газопровода подземного заложения, пересекающего переувлажненные, заболоченные участки. Те участки газопровода, которые лежат на дне незамерзающих термокарстовых озер (за счет тепла, поступающего от газа), периодически подвергаются вспучиванию за счет сезонного промерзания подводных таликов. Если этот процесс протекает на дне спущенных озер, то на него накладывается и многолетнее пучение, которое приводит к наибольшей деформации газопровода.

Определенную опасность морозное пучение представляет также для различных сооружений (здания, линии связи и электропередачи, мосты и другие объекты), поскольку вспучивание фундамента происходит неравномерно из-за неоднородности пород, разной глубины промерзания и в зависимости от экспозиции. Это обуславливает появление трещин и других деформаций в конструкциях сооружений. Последующее оттаивание приводит к осадке (также неравномерной) и еще большим деформациям.

Наиболее опасными с точки зрения устойчивости инженерных сооружений являются *термокарстовые* процессы, которые приводят к аварийным повреждениям зданий, деформации буровых вышек, перекос трубопроводов и т.п. Образуются первичные западины глубиной до 1,5 м. Вокруг буровых скважин почти повсеместно отмечены нарушения почвенно-растительного покрова и развитие термокарстовых процессов на расстоянии до 0,5–0,7 км от места бурения. Часто к моменту окончания бурения скважин мохово-растительный покров разрушается до такой степени, что вокруг буровой вышки образуется труднопроходимое грязевое болото.

В результате теплового воздействия газопровода происходит оттаивание вдоль него мерзлых грунтов, заполнение траншеи тальми водами и всплыванием труб. В случаях, когда антропогенный рельеф

становится препятствием для стока с поверхности, сложенной льдистыми породами, образуется водоем часто с последующими термокарстовыми преобразованиями (Суходровский, Козлова, 1991).

Солифлюкция, вызванная антропогенными причинами, проявляется в виде быстрой солифлюкции, или оползания-оплывания поверхностного слоя, мощностью 1–1,5 м со склонов крутизной более 2–3°, причем скорость солифлюкционного потока может измеряться десятками метров в сутки, в отличие от естественной солифлюкции, где она не превышает нескольких сантиметров в год. При площадном нарушении поверхности пологих склонов, где неглубоко залегают льдонасыщенные многолетнемерзлые отложения, наблюдается активное площадное развитие солифлюкции, скорость которой составляет 0,5–0,6 и на крутых склонах увеличивается до 2–3 м в сутки (Григорьев, 1979).

Эрозия и термоэрозия. Одной из основных причин развития термоэрозии является разрушение почвенно-растительного покрова транспортными средствами или прокладкой траншей для газопровода на наклонных поверхностях. По их следам (колеям) закладываются эрозионные врезы. Активизации процесса термоэрозии способствует увеличение поверхностного стока талых снеговых вод в местах скопления снега, а также сброс промышленных и бытовых вод, часто высокотемпературных. В частности, наблюдения за ростом оврага, расчленяющего уступ первой морской террасы (район пос. Харасавэй), показали, что за пять лет он составил 80 м, причиной послужил сброс сточных вод. После прекращения сброса рост оврага замедлился (Воскресенский, Чистов, 1988; Суходровский, Козлова, 1991).

Абразия и термоабразия проявляется на берегах искусственных водохранилищ или водоемов, сложенных льдистыми отложениями, — водоемы расширяются, происходит снижение их уровня и затем затухание термоабразионных процессов. Техногенные воздействия существенно ускоряют естественный режим развития термоабразии. Причиной возрастания скорости разрушения термоабразионного берега являются его деформации в прибрежной зоне в результате нарушений тепловой устойчивости грунтов бытовыми стоками и уничтожения растительного покрова гусеничным транспортом, разрушения миграционных бугров пучения, развития термокарстовых озер с последующим их стоком в море. На термоабразионных берегах, сложенных в основании пластовыми льдами, формируются

термоабразионные ниши, способствующие их интенсивному разрушению и отступанию, что провоцирует постоянную потерю прибрежных участков суши (Суходровский, Козлова, 1991; Козлова, Некрасова, 2002; Игловский, 2013).

Эоловые процессы, вызванные антропогенным преобразованием рельефа песчаных равнин, приводят к формированию несвойственных тундре и северной лесотундре дюнных ландшафтов с незакрепленными песками. Наиболее интенсивно они проявляются на песчаных массивах, которые используются для строительства гражданских и промышленных сооружений и в местах разработки песчаных карьеров. Характерный пример — г. Новый Уренгой и его окрестности.

Эрозия проявляется в летний период во время дождей, а термоэрозия — весной во время снеготаяния, когда текущей водой размывается мерзлый грунт. Часто направляющей осью для эрозионного потока служат трещины отседания и морозобойные трещины.

Склоновые процессы на откосах проявляются комплексно. В зависимости от характеристик откоса ведущим может стать любой — от плоскостного смыва до обрушения. Существенную роль на оголенных увлажненных откосах могут играть солифлюкционные смещения грунта. Водопрпускные трубы, уложенные поперек насыпи, стимулируют образование промоин.

Не имеющий аналогов в тундре процесс суффозии весьма активно проявляется на насыпях, особенно в их краевых частях. Суффозия стимулирует развитие эрозионных врезов и, как правило, ими замещается.

Многолетними наблюдениями установлено, что криогенные процессы, обусловленные антропогенным воздействием, протекают в тундровых ландшафтах на один-два порядка интенсивнее их естественных аналогов и могут принимать катастрофический характер. Однако уже через 4–5 лет развитие криогенных процессов замедляется и при продолжающемся антропогенном воздействии, тем более если оно прекращается. Наблюдается стабилизация процессов и постепенное самовосстановление нарушенных ландшафтов, хотя рельеф в зоне техногенного воздействия может быть существенно преобразован (Суходровский, 1979; Барановский, Григорьев, 1988).

Более существенный ущерб при хозяйственном освоении может принести постепенное *оседание поверхности* по всей территории разрабатываемого газового месторождения в результате изменения пла-

стового давления и уплотнения вышележащих грунтов. Такое постепенное общее оседание поверхности территории иногда дополняется *неравномерным оседанием*, связанным с возможным смещением газоносных пластов и образованием на поверхности разломов. Эти деформации сказываются на устойчивости линейных коммуникаций (линий газопроводов, железных и автомобильных дорог). Оседание поверхности при разработке газоконденсатного месторождения может привести к локальным землетрясениям мощностью 1–2 балла. На территориях месторождений, расположенных на побережьях (как, в частности, Харасавэйское газоконденсатное месторождение на побережье Карского моря), может происходить не только оседание отдельных участков поверхности и их подтопление, но и местами наступание моря в глубь территории, образование многочисленных островов и полуостровов с изрезанной береговой линией. При этом могут оказаться затопленными некоторые хозяйственные объекты.

Нарушение территории газоконденсатного месторождения, вызванное оседанием поверхности, приводит к изменению ее морфометрических характеристик, что повлечет за собой переформирование направления и скорости стока поверхностных и подземных вод, а также может спровоцировать активизацию термоабразионных, термокарстовых, термоэрозионных процессов.

При разработке газовых месторождений их обустройство и строительство сооружений ведется, как правило, на насыпях — площадных и линейных. Насыпи — формы рельефа, чужеродные для ландшафтов тундры, своего рода плотины, нарушающие сложившиеся вещественно-энергетические потоки. Это приводит к развитию и воздействию морфодинамических процессов на поверхность и откосы насыпи.

Для криолитозоны характерна особая чувствительность к внешним воздействиям и ранимость, причем это относится как к естественным процессам, так и к техногенезу. Неустойчивые к колебаниям температуры мерзлые толщи легко переходят в талое состояние и из талого в мерзлое. Это приводит к развитию неблагоприятных и опасных геокриологических явлений, негативно воздействующих и на естественную природную среду, и на инженерно-технические системы (Шац, 2017).

Степень активности антропогенно обусловленных процессов, зависит от морфологии рельефа, литологии рельефообразующих пород, влажности-льдистости пород, характеристик растительного

покрова. Установлено, что многолетнемерзлые породы разного возраста и мощности по-разному реагируют на антропогенное воздействие. Породы голоценового возраста являются более устойчивыми к антропогенным воздействиям, так как они менее льдистые, в них отсутствуют мощные повторно-жильные и пластовые льды. Кроме того, чем больше их мощность, тем большие нагрузки теплового воздействия они могут воспринимать при хозяйственном освоении (Чигир и др., 1988).

Своеобразные свойства криолитозоны, обусловленные особенностями ее состава, определяют ее высокую динамичность. Особую роль в проявлении процессов играет объемная льдистость пород. От нее зависит устойчивость или чувствительность поверхности к антропогенным воздействиям. При высокой льдистости отложений происходит нарушение целостности криогенных форм рельефа. Там, где объемная льдистость высокая — до 50%, быстрая солифлюкция и термоэрозия на склонах, а термокарст — на плакорах протекают особенно интенсивно, принимая порой катастрофический характер (Браун, Граве, 1981; Суходровский, Козлова 1991; Козлова, Некрасова, 2002; Очерки..., 2009; Игловский, 2013; и др.).

В результате природно-антропогенных геологических процессов, постоянного перераспределения и аккумуляции осадочного материала *на урбанизированных территориях образуются современные антропогенные отложения*. Они представляют собой самый молодой слой как самостоятельную фазию. Возникают прежде несвойственные формы рельефа, накапливаются и постоянно увеличиваются в объемах отходы различного происхождения, формируется слой рыхлых отложений сложного состава в процессе строительных и иных территориальных преобразований.

Происходит увеличение зоны обводнения и заболачивания. Именно обводнение является одним из наиболее неблагоприятных факторов, влияющих на потерю устойчивости грунтов оснований и несущих конструкций. Особенно опасны для сооружений неравномерные осадки и пучение мерзлого основания. Нестабильность свойств мерзлой толщи — основная причина разрушений. Прочность и устойчивость мерзлых грунтов зависят от температуры и состава льда.

Инженерно-геологические процессы характеризуются большей интенсивностью, а также особым температурным режимом, способствующим увеличению глубин деятельного слоя (Абатурова, Емельянова, 2008; Абатурова и др., 2009; Емельянова, 2010; Емельянова и

др., 2011; Савинцев, 2012). Имеющиеся данные свидетельствуют об увеличении среднегодовой температуры верхних горизонтов многолетнемерзлых пород с 1970-х гг. в большинстве точек наблюдения. Оно составило 1,2–2,8 °С на севере европейской территории России, 1 °С — на севере Западной Сибири, 1,5 °С — в Центральной Якутии и около 1,3 °С — в Восточной Сибири (Шац, Скачков, 2017).

По результатам исследований Института мерзлотоведения СО РАН в настоящее время наблюдается тенденция более многообразного и глубинного преобразования мерзлых толщ в процессе извлечения полезных ископаемых, порой принципиально меняя общую тенденцию мерзлотного процесса. Так, при освоении железорудного месторождения Таежное в Южной Якутии площади развития мерзлых пород в интервале 1950–1980 гг. возросли на 15–20%, мощность — на 20–40 м, а температура на глубине 12 м понизилась на 0,6 °С, отражая тем самым существенное увеличение суровости мерзлотных условий. Подобные достаточно активные и масштабные изменения связаны с нарушениями, а порой и уничтожением почвенно-растительного покрова, приводящим к перераспределению снежного покрова и изменению условий теплообмена верхних горизонтов горных пород с приземными слоями атмосферы.

На золотоносных месторождениях Южной Якутии изменения имели обратную тенденцию — температура пород после завершения добычи руды повысилась на 0,4–0,8 °С, что привело к сокращению площадей островов мерзлых пород, а в отдельных случаях в результате изменения гидрологических и гидрогеологических условий к их полному оттаиванию. Это свидетельствует о различной реакции многолетнемерзлых пород на воздействие в зависимости от природных условий месторождения (Шац, 2021).

Особенности урбогенного морфолитогенеза — преобразований и изменений геоморфологических и геоэкологических условий рассмотрим на примере территорий некоторых городов *Арктической зоны*: горнодобывающих центров — Норильска и Воркуты; известных с XVI в. Архангельска и Салехарда; современных центров газовой промышленности — Надыма и Нового Уренгоя, каждый из которых имеет свою историю освоения и характер техногенных преобразований.

Норильск. 182 701 человек (2021). Площадь 26,1 км². Процессы техногенеза особенно ярко проявляются на территории *Норильского промышленного комплекса*, обладающего наибольшим индустриальным потенциалом в Арктике, но и постоянно увеличивающейся площа-

дью нарушенных земель, что привело к существенным изменениям геолого-геоморфологических характеристик, активизации рельефообразующих процессов и явлений, формированию техногенных ландшафтов, не подлежащих естественному восстановлению.

Территории города, Норильского рудного района и Норильского угольного месторождения находятся в зоне повсеместного распространения многолетнемерзлых пород, которые прослеживаются на глубину до 500 м. Мерзлые породы определяют особенности гидрогеологических условий: пространственное положение водоносных горизонтов, условия их питания и разгрузки, режим, взаимосвязь подмерзлотных водоносных горизонтов с водами сквозных таликов, сезонного оттаивания; надмерзлотными и поверхностными водами.

Для территории Норильского промышленного района характерен выровненный антропогенный рельеф с абсолютными отметками от 211,51 до 225,72 м. В черте активной застройки верхняя часть разреза сложена насыпными техногенными грунтами, в составе которых преимущественно слежавшиеся в течение длительного времени отходы производства и металлургический шлак. Техногенный слой, достигающий мощности 5–10 м, залегает на элювиально-делювиальной осадочной толще, где преобладают крупнообломочные грунты с суглинисто-супесчаным заполнением с включениями дресвы и щебня, имеет разную льдистость и криотекстуру. Дополнительного уплотнения не проводилось, отсыпка велась беспорядочно. Техногенное подтопление и засоление грунтов приводит в регионе к повсеместному росту глубин сезонно-талого слоя, к повышению притока тепла в мерзлую толщу за счет увеличения теплопроводности грунтов, а это, в свою очередь, приводит к ослаблению структуры грунтов, уменьшению их плотности, снижению прочности, увеличению водонасыщенности, подъему уровня грунтовых вод. Характерные изменения геоморфологических и геоэкологических условий Норильского района выражены в процессах деформации поверхности, деградации почвы и растительного покрова на площадях, достигающих более десятков тысяч га на разных участках, формировании техногенной толщи. В частности, по данным И.Л. Чупровой (2006), под хвостохранилища Норильского горно-металлургического комбината изъято более 6 тыс. га, или 60 км². В районе существует проблема несанкционированных свалок, где ПДК по содержанию металлов в почве превышено в 12 и более раз (Колесникова, 1999; Абамов, 2003; Бютюгин, Гулан, 2005; Скачков, 2005; Чупрова, 2006; Тирских и др., 2014;

Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2018 году», 2019).

Глубина сезонного промерзания-оттаивания в Норильском регионе составляет 0,5–0,6 м и с 1980 г. увеличилась на 0,1 м. Глубина нулевых амплитуд (*глубина, на которой температура многолетнемерзлых пород является постоянной в течение всего годового периода, независимо от сезонных колебаний температуры воздуха*) уменьшилась примерно на 0,3 м. У поверхности температура земли меняется в диапазоне от -20 до 9,5 °С (в 2020 г. от -18,6 до 9,7 °С), на глубине 2 м в диапазоне от -13,9 до -4 (в 2020 г. от -13 до -3,8), на глубине 5 м — в диапазоне от -10,5 до -7,6 °С (в 2020 г. от -9,8 до -7,1 °С), на глубине 10 м от -9,3 до -8,9 °С (в 2020 г. от -8,7 до -8,3 °С). При рассмотрении средних многолетних температур по десятилетиям становится очевидным увеличение темпов потепления начиная с 2001 г. Авторами исследования (Федотов и др., 2020) смоделирован прогноз температурного режима грунта на 2080 г. по двум сценариям (Representative Concentration Pathway) глобального потепления: умеренному и негативному. Умеренный сценарий показал увеличение глубины оттаивания (промерзания) на 0,1 м и уменьшение глубины нулевых амплитуд на 1 м, а также увеличение температуры по глубине в среднем на 2 °С. Результаты расчетов по негативному сценарию показали увеличение глубины активного слоя на 0,5 м (в 2 раза по сравнению с настоящим временем) и уменьшение глубины нулевых амплитуд на 4 м, температура грунта в среднем выросла на 5,7 °С. В связи с произошедшим в мае 2020 г. разливом топлива из резервуара в г. Норильске из-за проседания опор фундамента был смоделирован температурный режим грунта в 1980 г. Результаты показали увеличение глубины активного слоя с 1980 г. на 0,1 м, которое и могло вызвать просадку свай фундамента резервуара. На основании сравнения многолетних среднемесячных температур по десятилетиям установлено, что 2010–2020 гг. имеют наибольшее количество самых высоких значений среднемесячных температур. Результаты расчетов показывают значительные изменения в температурном режиме грунта при реализации обоих сценариев потепления и тем не менее демонстрируют сохранение мерзлоты даже при негативном сценарии потепления климата. Последнее обстоятельство является обнадеживающим фактом с точки зрения сохранения несущих способностей зданий и сооружений, построенных к настоящему времени в районе г. Норильска (Федотов и др., 2020; Шац, 2017, 2019, 2021; Офиц. сайт г. Норильска).

Воркута. 52 292 человека (2021). Площадь 29,7 км². Для территории городского округа характерны высокая степень дифференциации климатических условий, суровые зимы, неустойчивость и резкая смена погодных условий, избыточность увлажнения и глубокое промерзание грунтов. В регионе широко развиты криогенные процессы, криогенные и посткриогенные образования. Наиболее распространены бугры пучения, образовавшиеся в результате многолетнего или сезонного промерзания горных пород, термокарстовые и термоэрозийные формы рельефа, сформировавшиеся при многолетнем протаивании льдистых отложений, полигональный микрорельеф и связанные с ним полигонально-жильные льды.

На территории Воркутинского горнорудного района активно проявляется процесс деградации многолетней мерзлоты. Этому способствовали строительство шахтных комплексов городских кварталов и рабочих поселков, создание шахтных отвалов, карьеров, насыпей, каналов, отсыпка территорий, берегоукрепление опасных участков рек, устройство дренажных систем и др. Глубина сезонно-талого слоя колеблется от 2,14 м в глинах и суглинках до 3,17 м для крупнообломочных грунтов (Оберман, 1998; Коршунова, 1999).

Около 25% (144 км²) от всей площади района — это территории, где сформировались антропогенные формы рельефа (79 км²) или наблюдается существенное изменение направленность развития геоморфологических процессов (65 км²). Среди прямых антропогенных трансформаций рельефа по площади и объемам перемещенного вещества преобладают аккумулятивные — создание положительных форм рельефа (отвалы, насыпи и др.), их общая площадь составляет 75,2 км², объем 417,8 млн м³. При этом 30% площади всех положительных антропогенных форм и 66% их объема занимают отвалы шахт. На карьеры, каналы и прочие отрицательные формы приходится 3,8 км² площади и 72 млн м³ перемещенного материала. В окрестностях города и поселков промышленной зоны развиты геоморфологические процессы большей интенсивности, прежде всего мерзлотные, склоновые и флювиальные вследствие нарушения сплошности растительного покрова, изменения гидрогеологического режима, теплового баланса мерзлых толщ и пр. В составе антропогенных отложений территории преобладают по площади распространения и объемам дробленные скальные, в том числе углесодержащие вскрышные и вмещающие породы — отходы при проходке подземных выработок. Наибольшие объемы антропогенных отложений (до 66% от всего

объема) сосредоточены в отвальных полях шахт Центральной обогатительной фабрики «Печорская» и Юньягинского угольного разреза, а также в насыпях под населенными пунктами (до 26%). На участках антропогенного рельефа получили развитие обвально-осыпные, эрозийные и эоловые процессы, проявляющиеся в естественных условиях крайне ограниченно. Комплекс криогенных процессов здесь изменился, ведущим процессом стало криогенное выветривание, а пучение и термокарст практически не развиты. Наиболее опасным природным процессом в пределах отвальных полей действующих и ликвидированных шахт, является самовозгорание. Признаки этого процесса (парение поверхности, выход горячих газов и растворов, фумаролы, просадки поверхности отвалов) указывают на возможность существования в теле отвалов крупных полостей и трещин (Еременко и др., 2021). Требуют решения проблемы накопления, переработки и утилизации отходов.

Большое количество зданий и сооружений подвержено деформациям. Из-за экстремально низких температур (зимой до -40°C) здания неустойчивы, 80% фундаментов зданий подвержены разрушению. Для территории города характерны высокий уровень грунтовых вод, подтопление паводковыми водами. Техногенное воздействие способствовало загрязнению, уплотнению, нарушению, вторичному засолению грунтов, эрозии почв и другим негативным последствиям (Коршунова, 1999; Оберман, Лыгин, 2009; Государственный доклад... Республики Коми, 2017).

Архангельск. 344 927 человек (2021). Площадь 294 км². С момента основания города в XVI в. велось освоение благоприятных для строительства участков, расположенных в центральном районе города, где на поверхность выходили отложения морены. Со временем город увеличивается в размерах за счет осушения и подсыпки прилегающих заболоченных территорий.

В целом геолого-геоморфологические условия территории относятся к категории неблагоприятных для строительства. Ближайшими к поверхности грунтами, которые могут служить в качестве основания сооружений, являются моренные суглинки, залегающие на глубине более 4–8 м, что требует свайного фундамента. Присутствие слоя торфа приводит не только к удорожанию строительства, но и существенно осложняет эксплуатацию сооружений. Сжатие торфа под насыпными грунтами продолжается в течение нескольких десятилетий. Естественный холмисто-равнинный рельеф города с общим

наклоном поверхности с юга на север усложняется техногенными формами: карьерами и отвалами, береговыми укреплениями, выемками и насыпями автомобильных и железных дорог, участками насыпного и намывного грунта, особенно в районах с мощностью торфа до 12–18 м (Невзоров, 2000, 2012; Онакова, 2020). Относительная высота антропогенных форм рельефа достигает 10–12 м. Понижение рельефа происходит в результате вертикальной планировки, которая сопровождается срезкой уступов, разработкой долговременных поверхностных выемок, осадками и просадками грунтов. Характерные изменения гипсометрии рельефа города в связи со строительными работами и осушением болот проявляются в значительном оседании поверхности (на 5–22 мм ежегодно) и понижении уровня грунтовых вод. Мощность антропогенных отложений — от 0,5 до 6 м. Максимальные мощности наблюдаются в районах древнего поселения и старой застройки города, а также в искусственных насыпях; минимальные — от 0,5 до 2 м чаще встречаются в недавно застроенных районах города. Слой техногенных отложений местами состоит из намывного песка (мощностью от 0,6 до 5,2 м), добытого при углублении русла Северной Двины. Поверхностные слои городских почв в парковой и жилой зонах города чаще имеют супесчаный гранулометрический состав, сильно распылены, переслоены глиной, торфом или строительным мусором, мощность слоя которого иногда достигает 0,7–1 м, что связано с технологией обустройства газонов, при которой поверхность строительного мусора отсыпается торфом и песком (Невзоров, 2000, 2012; Попова, 2014, Состояние и охрана... Архангельской обл., 2011).

Салехард. 51 186 человек (2021). Площадь 84,5 км². Город протянулся на 15 км между притоками р. Полуй. Инженерно-геологические условия территории города во многом определяются распространением многолетнемерзлых пород (ММП) и развитием опасных экзогенных геологических процессов. Повсеместно развито сезонное оттаивание пород: максимальные глубины сезонного оттаивания характерны для крупнозернистых пород, минимальные — для органоминеральных. В пределах территории города кровля ММП залегает с поверхности либо на глубине 2–10 м. Мощность талых пород составляет от 80 до 90 м.

Строительство сооружений, дорог, объектов инфраструктуры, коммуникаций, выемки и насыпи, свалки твердых бытовых и промышленных отходов приводят к *изменениям теплового баланса грунтов и поверхностного стока.*

На территории города наблюдается активизация эрозионных процессов и оврагообразования, процессов заболачивания, термокарста, пучения и оползней течения, изменяющих ландшафт ямальской тундры, нарушая целостность инфраструктуры. Общая площадь преобразований занимает около 100 км².

Одной из наиболее важных характеристик антропогенного морфолитогенеза г. Салехарда является овражная эрозия. Территория района может рассматриваться как пример проявления причин и условий образования оврагов в криолитозоне, к которым относятся климатические особенности (количество выпадающих атмосферных осадков превышает испарение), направленный поверхностный сток дождевых и паводковых вод в условиях Обь-Полуйского водораздела, сплошное распространение рыхлых легкоразмываемых пород, нарушение растительного покрова, наличие многолетней мерзлоты и т.д. (Лихарев, 2002; Жданов, 2007; Тактуев, 2007; Громадский, 2016; Схема водоснабжения... Салехард..., 2020).

Надым. 45 584 человека (2021). Площадь 185 км². Закономерности изменения инженерно-геологических условий территории г. Надыма определяются совокупностью специфических геологических, геокриологических, гидрогеологических особенностей, техногенным воздействием на геологическую среду и активизацией природно-техногенных геологических процессов.

В геологическом строении территории принимают участие отложения высокой и низкой поймы р. Надым, I, II и III надпойменных террас четвертичного возраста, представленные песками разной крупности, супесями, суглинками и торфами. Территория города расположена в пределах аккумулятивной аллювиальной равнины на останце первой надпойменной террасы и отчасти высокой поймы р. Надым. Отложения высокой поймы представлены сложным переслаиванием песков мелких и пылеватых с прослоями суглинков, супесей и торфов. Аллювиальные отложения I надпойменной террасы сложены песками разной крупности, ближе к дневной поверхности преобладают пылеватые разности, с маломощными прослойками суглинков и супесей.

Геокриологические условия территории уникальны приуроченностью к зоне островного развития многолетнемерзлых пород. Строение мерзлых толщ неоднородно и в плане, и в разрезе. Вертикальное строение мерзлой толщи двухслойное. Реликтовый слой залегает на глубинах 100–200 м, а кровля верхнего слоя мерзлых пород нахо-

дится либо на поверхности (подзона сплошного развития многолетнемерзлых пород), либо опущена до глубин 50 м и более (подзона несквозного талика). В подзоне несквозного талика отмечаются новообразования мерзлоты мощностью от нескольких десятков сантиметров до 5–6 м, залегающих на разных глубинах. Температурный режим мерзлых грунтов характеризуется значениями от -3 до $-0,1$ °С, что способствует быстрому переходу грунтов в талое состояние при изменении условий теплообмена, которые формируются под влиянием техногенных воздействий, в том числе и в результате аварийных утечек из водопроводных коммуникаций, что приводит к формированию под зданиями «техногенных озер», увеличению глубин чаши оттаивания на 6–8 м.

Для территории характерно развитие криогенных процессов, формирующих грядово-мочажинные, кочковатые и низинные болота, термокарстовые озера, бугры пучения, морозобойное растрескивание, эоловые процессы. Наличие многолетней мерзлоты, недостаточная теплообеспеченность, избыточное увлажнение создают благоприятную обстановку для развития на территории города природно-техногенных процессов, таких, как подтопление, морозное пучение, суффозия. Многолетнее (свыше 30 лет) тепловое воздействие зданий и водонесущих коммуникаций, нарушение температурного режима грунтов, изменение состояния и свойств грунтов привели к деградации мерзлых пород. В результате тепловых изменений происходит как увеличение, так и уменьшение глубины слоя сезонного промерзания-оттаивания в среднем на 1–3 м.

Основные изменения компонентов инженерно-геологических условий в пределах городской инфраструктуры г. Надыма происходят в результате техногенных воздействий, вызывающих неравномерные осадки, пучение грунтов и фундаментов, изгибы и коррозии свай, а следовательно, деформации строительных конструкций, и серьезно осложняют эксплуатацию инженерных сооружений.

В городе осуществляется мониторинг литотехнической системы с целью оценки и прогнозирования изменений инженерно-геологических условий, установления причин и характера деформаций зданий и сооружений для достижения их безаварийного функционирования.

Активизация процессов суффозии, подтопления, *морозного пучения* вызывает деформации или разрушения несущих конструкций зданий, неравномерные просадки поверхности и фундаментов, изгибы и коррозии свай. В последнее десятилетие около 60% зданий

находились в неудовлетворительном состоянии и около 20% требовали мер по укреплению и спасению от разрушения. Более 2 тыс. м² в районе заняты промышленными и строительными отходами различных классов опасности (в последние годы начаты рекультивационные работы) (Абатурова, Носкова, 2007; Абатурова, Емельянова, 2008; Абатурова и др., 2009; Емельянова, 2010; Емельянова и др., 2011; Сизов и др., 2020).

Новый Уренгой. 118 115 человек (2021). Площадь 226 км². Город возник в 1975 г. как столица газодобывающего края на севере Тюменской области. С 2016 г. при строительстве города использовался самый передовой мировой опыт в градостроении и учитывались климатические особенности Приполярья. Тем не менее техногенные нарушения на территории весьма значительные. В пределах города, особенно его промышленной части, почвенно-растительный слой, а часто и литологический состав поверхностных отложений изменены более чем на 50% за счет насыпного грунта. То же наблюдается вдоль всех линейных систем коммуникаций. Вдоль трубопроводов располагаются многочисленные мелкие техногенные объекты, нарушающие почвенно-растительный слой, хотя и в меньшей степени: это грунтовые и вездеходные дороги, балки, сараи, отдельные строения, мелкие карьеры и бульдозерные выемки, свалки бытовых и техногенных отходов.

Мониторинг экзогенных геологических процессов на газопроводе Заполярное — Новый Уренгой (1990—1992, 2003—2006) показал, что наиболее массовыми проявлениями процессов в период строительства и начального этапа эксплуатации являются эрозия, термоэрозия, затопление и подтопление, — данная группа процессов составляет более 90% от их общего количества.

На участках, используемых для строительства гражданских или промышленных сооружений, расположенных на дренированных песчаных массивах, неизбежно развиваются антропогенно обусловленные эоловые процессы. По мере расширения сферы антропогенного воздействия на почвенно-растительный покров и рельеф увеличивается и область развития эолового процесса. Деятельность ветра на осваиваемых песчаных массивах сопровождается образованием дефляционных западин и аккумулятивных образований в виде шлейфов, бугров, а иногда и дюн с ветровой рябью. Однонаправленные господствующие ветры вызывают движение песков, которые засыпают даже деревья, а во время сильных ветров наблюдаются пыльные бури.

По степени развития антропогенного морфогенеза — нарушенности почвогрунтовой толщи на этой урбанизированной территории можно выделить три района:

— Сильные нарушения, где площадь поражения превышает 50%, связаны с крупными карьерами, промышленными объектами, городами, посёлками, аэродромами, дорогами с твердым покрытием и насыпными. Наиболее широко подобные явления распространены в г. Новый Уренгой и его промышленных окрестностях.

— Нарушения средней интенсивности (площадь поражения почвогрунтов 20–50%) свойственны небольшим поселкам, грунтовыми (без насыпей) дорогам, пространствам между линейными коммуникациями; часто к таким нарушениям приводит бесхозяйственное использование земель с образованием участков с массой мелких техногенных объектов, пустырей, бульдозерных выемок, мелких свалок, следов вездеходного транспорта, отдельных строений, троп и пр. Такие участки часто встречаются в окрестностях города, вдоль магистрали трубопроводов Новый Уренгой — Коротчаево, в окрестностях поселков Коротчаево, Старый Уренгой, Тазовский, в пос. Газ-Сале и Самбург. На территории месторождения Заполярное средние нарушения имеют точечный характер и приурочены к геолого-разведочным скважинам, однако здесь отмечаются и наибольшие изменения ландшафтов, связанные с бурением скважин. Технология работ неизбежно вызывает физико-механические нарушения поверхности, так как практически всюду делаются искусственные насыпные площадки для буровых установок, что привело к долговременным химическим загрязнениям. На площадках после бурения остаются большие количества глинистых компонентов, цемента, химических реагентов, использовавшихся при бурении, бытовые отходы, остатки нефтепродуктов, которые со временем могут перейти в почвогрунты и поверхностные воды.

— К слабым нарушениям относятся участки с поражениями почвогрунтов менее 20% площади. Обычно это территории, находящиеся на периферии площадей с техногенными поражениями сильной и средней степени около всех поселков, особенно станций Уренгой и Коротчаево, а чаще всего это линейные разрывы приземного слоя, связанные с единичными вездеходными проходами, тропами, линиями электропередачи, зимниками Самбург — Тазовский и Тазовский — Старый Уренгой. Эти нарушения часто приводят к активизации экзогенных процессов, характер которых зависит не

только от интенсивности техногенного воздействия, но и от свойств самих ландшафтов. Из активизированных процессов наиболее распространены геокриологические, гидрогеологические, эоловые и гравитационные.

Геокриологические процессы резко проявляются на ландшафтах с неустойчивыми многолетнемерзлыми породами — болотных, хасырейных, пойменных местностях. Промерзание грунтов в зависимости от состава 2,46—3,63 м. Разрыв мохового покрова болот, рытвины в сильнольдистых суглинках быстро приводят к обводнению, протаиванию грунтов и последующим термоэрозии и термокарсту, что наиболее активно происходит вдоль путей вездеходного транспорта и наблюдается часто на территории месторождения, на участке между г. Новый Уренгой и пос. Коротчаево, вдоль зимников Самбург — Тазовский и Тазовский — Старый Уренгой.

Гидрогеологические процессы приводят к обводнению в случае, когда из-за техногенных объектов замедляется естественный сток вод водотоков и болот и происходит их искусственное подтопление. Подобные процессы наблюдались в районе г. Новый Уренгой, нефтехимического комплекса, в некоторых местах вдоль магистральной линии трубопроводов. Гидрогеологические процессы могут постепенно переходить в геокриологические и продолжаться в виде термоэрозии, термокарста, а при значительном подтоплении возможно образование таликов, нередко затрагивая подземные воды (Суходровский, 1979; Козлова, Некрасова, 2002; Камелин, Жабин, 2017).

Увеличение температуры многолетнемерзлых пород по сравнению с климатической нормой 1960—1990 гг. на севере Западной Сибири привело к ухудшению инженерно-геологических и геоморфологических условий и соответственно к уменьшению несущей способности оснований зданий и сооружений в среднем по региону на 17%, в некоторых районах — до 45%. Прогнозируемое потепление климата может привести к дальнейшему снижению несущей способности грунтов оснований объектов, построенных *по принципу сохранения мерзлоты*, что приведет к увеличению числа деформаций зданий и сооружений и может негативно сказаться на развитии инфраструктуры региона. При сохранении тенденции изменения климата к потеплению и расширению области деградации многолетнемерзлых пород районы Арктической зоны перейдут в категорию «сильного» и «катастрофического» изменения инженерно-геологических условий (Стрелецкий и др., 2012).

В период с 1990 по 1999 г. число зданий, получивших различного рода повреждения из-за неравномерных просадок фундаментов, увеличилось по сравнению с предшествующим десятилетием на 42% в Норильске, на 61% в Якутске и на 90% в Амдерме (Анисимов, Белолуцкая, 2002). Деформировано почти 60% зданий и сооружений в Игарке, Диксоне, Вилюйске, 100% зданий и сооружений в национальных поселках Таймырского округа, около 40% зданий и сооружений в Воркуте. В Якутске с начала 1970-х гг. произошло более 20 случаев крупных обрушений каменных зданий постройки 1950–1960 гг., более 300 зданий получили серьезные деформации и повреждения в результате осадок, особенно неравномерных, мерзлых грунтов, оснований при оттаивании. В Норильском промышленном районе (2012) обнаружено около 250 сооружений, имевших существенные деформации, связанные с ухудшением мерзлотных условий в последнее десятилетие; около 40 жилых домов были снесены или планировались к сносу (Алексеева и др., 2007).

Основные нагрузки при хозяйственном освоении территории воспринимает слой сезонного промерзания-протаивания. Его целостность обеспечивает сохранение ненарушенных подстилающих многолетнемерзлых пород, поверхности и в целом объектов, на ней расположенных (Грабевская, Чигир, 1988). Практически во всех городах и поселениях, расположенных в зоне многолетнемерзлых пород, отмечается техногенная активация геокриологических процессов, которая выражается в *изменении глубин сезонного промерзания и оттаивания*, формировании перелетков мерзлых пород и мощных чаш оттаивания, развитии термокарста.

Одной из важнейших проблем в арктических регионах России остается проблема загрязнения природной среды за счет увеличения количества отходов, их размещения и утилизации, образованных в результате хозяйственной деятельности людей, которая осуществлялась в прошлом. Это также объекты накопленного вреда горнодобывающей промышленности (Антропогенное воздействие..., 2017). Проблемы, связанные со свалками отходов, приводят к отепляющему влиянию на мерзлоту, к формированию геопатогенных зон, формированию техногенного рельефа и изменению характеристик поверхностного стока.

Многие территории Арктики сегодня — неприглядные «индустриальные» ландшафты — где уже наблюдаются сильнейшая трансформация естественного геохимического фона, загрязнение атмосферы,

деградация растительного покрова, почвы и грунтов, внедрение вредных веществ и т.д. (Ревич, 2007). Добыча полезных ископаемых нередко превращает местность в зону экологического бедствия, так как интенсивность влияния хозяйственной деятельности в горно-промышленных районах значительно превосходит скорости развития природных рельефообразующих процессов.

Масштаб проблемы, связанной с накоплением и переработкой отходов в Арктической зоне, обусловлен количественными характеристиками образования, утилизации, обезвреживания и размещения отходов, выражающимися десятками и сотнями тысяч тонн в разных регионах. Следует отметить, что, в отличие от других, более теплых районов планеты, природа Арктики не в состоянии переработать имеющиеся отходы (Мизин, 2014). Согласно данным по Мурманской, Архангельской областям, республикам Карелия, Коми и Ненецкому автономному округу за 2011 г. объем образованных твердых бытовых отходов составил 404,158 млн т. В этот объем входят в том числе и отходы производства и потребления. Значительную часть отходов составляют отвалы горных пород.

Обширные площади, занятые отвалами и твердыми отходами, сосредоточены в Мурманской области, низовьях р. Печоры Ненецкого автономного округа, на юге Ямало-Ненецкого автономного округа, в Норильском промышленном районе, на севере Республики Саха (Якутия) и вокруг золотодобывающих районов на Чукотском полуострове. Всего в Арктической зоне РФ ежегодно образуется до 1 млрд т отвальных пород и твердых отходов. На этой территории выделено 16 морских и прибрежных зон, где уже наблюдаются сильная трансформация естественного геохимического фона, загрязнение атмосферы, деградация растительного покрова, почвы и грунтов. В начале 1990-х гг. в Арктике и на морских побережьях арктических морей оставлены и брошены здания, техника, горюче-смазочные материалы, строительные материалы и отходы, базы со всеми складами и оборудованием, закрылись многие рудники, аэродромы, обезлюдели поселки. Как результат арктическое побережье и острова от Мурманска до Певека усеяны грудями металлического мусора: ржавыми судами, машинами, различными механизмами, гигантскими залежами двухсотлитровых бочек и резервуарами из-под горюче-смазочных материалов. По различным оценкам, на указанной территории насчитывается до 4 млн т промышленного и строительного мусора и до 12 млн железных бочек. Огромные многокилометровые свалки

возникли вокруг полярных станций, воинских частей, поселков, портов. Отходы производства и жизнедеятельности накапливались здесь около 70 лет и не вывозились для захоронения, переработки или утилизации. Согласно оценочным данным, полученным для работ по очистке Арктики, только на островах расположены до 1,5 млн бочек, 150 тыс. т металлолома, а также большое количество других отходов (здания, бытовые свалки и т.п.). Вокруг каждого крупного поселка (как, например, Амдерма) площади свалок оцениваются в тысячи гектаров. Опасными источниками загрязнения территории свалок являются тяжелые металлы и стойкие органические соединения, которые содержатся в остатках автомобильной техники, радио. Современные объекты добывающей промышленности в Арктической зоне России принадлежат крупным компаниям, часто — международным. Непосредственно на участках добычи, во временных вахтовых базах действуют жесткие правила, направленные на поддержание благоприятной экологической обстановки в зоне работы. Твердые бытовые отходы собираются, складываются и вывозятся согласно действующим нормам. Однако полностью исключить вероятность образования новых стихийных свалок нельзя. Значительное негативное влияние на экосистемы маршей, тундр и полярных пустынь оказывается за счет постепенного увеличения площадей, занятых объектами нефте- и газодобычи.

Большие территории занимают промышленными отходами — отвалами грунтов в местах вскрышных работ и переработанными породами (например, в зоне активности «Севералмаза» (Архангельская область), на предприятиях, находящихся в Республике Коми, на Чукотке). В настоящее время процесс накопления мусора в АЗРФ продолжается, хотя и не в таких масштабах. Особенно это характерно для растущих поселков и городов в Западной Сибири и других арктических регионах. Кроме вышеперечисленных, существует еще один путь проникновения отходов — это дельты крупных рек.

Существенным источником поступления различных твердых бытовых отходов на арктические побережья является материковый сток. Крупные реки Арктики — Онега, Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Лена, Колыма — выносят в море и береговую зону весь мусор своих бассейнов. В портовых зонах находится много брошенных и затонувших судов (только в Кольском заливе их более 200). Современные отходы характеризуются наличием значительного количества пластика, пленки и других пластмасс. Именно реки выносят

такие отходы к Северному Ледовитому океану с материка. К сожалению, объемы поступающего с речным стоком мусора не оценены в АЗРФ, мониторинг ведется традиционно по содержанию нефтяных углеводородов, хлорорганических соединений, тяжелых металлов и т.д. Поскольку общий суммарный речной сток в моря Российской Арктики оценивается в размере порядка 2500 км³, то и вынос твердых бытовых отходов от источников на материк значителен (Мизин, 2014). По данным Росприроднадзора за 2017 г., на территории Арктической зоны РФ образовалось более 32 млн т отходов производства и потребления. Количество утилизированных отходов составляет 58% от общего объема. Наибольшее количество образованных в 2017 г. отходов отмечалось в Красноярском крае — 72%, наименьшее — в Ямало-Ненецком автономном округе — 0,04%.

По данным Росприроднадзора, на начало 2020 г. в Арктической зоне РФ совокупная площадь нарушенных земель составила почти 200 тыс. га. Это площади, преобразованные при добыче полезных ископаемых, строительстве и территории под свалками и отходами производства. Здесь нарушены почвенный покров и гидрогеологический режим. Сформировался техногенный рельеф.

За 2021 г. в рамках проекта «Чистая Арктика» в арктических регионах России было собрано более 1500 т отходов (бочек с топливом, покрышек, пластика и древесины). С 2022 г. планируется проведение работ по ликвидации накопленного вреда во всех 9 арктических субъектах Российской Федерации. В табл. 12.1 приведен перечень загрязненных арктических территорий, включенных в Реестр *накопленного экологического ущерба* в 2021 г. (Васильцов и др., 2021).

Анализ особенностей складирования отходов в зоне распространения мерзлоты в различных районах Российского Севера (Норильский промышленный район, Воркута, Игарка и др.) (Гребенец и др., 2019) позволил выявить основные виды воздействия на природную среду и мерзлые грунты: механическое, физико-химическое и тепловое. Выделены пять основных блоков складирования отходов в криолитозоне, различных как по условиям накопления отходов, так и по особенностям воздействия на окружающую среду:

- полигоны хранения твердых бытовых отходов, присущие всем населенным пунктам и производственным площадкам и объединяющие в себе все виды воздействия;

- захламленные территории с брошенными зданиями и сооружениями;

Таблица 12.1. Загрязненные арктические территории

№	Объект накопленного экологического ущерба	Площадь загрязненной территории	Численность населения, проживающего в зоне негативного воздействия объекта, тыс. чел.
1	Место накопления металлолома в пос. Тикси Булунского района, Республика Саха (Якутия)	4,5 га	4,6
2	Акватория Кольского залива Баренцева моря в районе пос. Ретинское, Мурманская область	206 км ²	414,9
3	Территория пос. Амдерма, Ненецкий автономный округ	2303 га	0,6
4	Акватория реки в пос. Амдерма, в том числе акватория порта, Ненецкий автономный округ	0,023 км ²	0,6
5	Хвостохранилище Куларской золото-извлекательной фабрики, Омолойский наслег, Усть-Янский улус, Республика Саха (Якутия)	0,89 га	0,0
6	Городская свалка твердых коммунальных отходов, Мурманск	45,6 га	358,5
7	Свалка на территории ЗАТО Заозерск, Мурманская область	24,1 га	9,7
8	Свалка твердых коммунальных отходов в Анадыре, Чукотский автономный округ	7,8 га	0,0

Источник: данные Минприроды России, сведения, содержащиеся в Государственном реестре объектов накопленного вреда окружающей среде (по состоянию на 3 марта 2021 г.).

— площадки хранения отходов лесопереработки, представляющие высокую опасность из-за теплового воздействия на мерзлые грунты;

— шлако-, золо-,шламоотвалы и хвостохранилища, оказывающие значительное тепловое воздействие на мерзлоту и являющиеся источником большого количества загрязняющих химических веществ;

— отвалы пустой породы в районах добычи рудных полезных ископаемых, которые коренным образом меняют ландшафты, являются причиной активизации склоновых криогенных процессов и могут трансформироваться в техногенные каменные глетчеры;

— загрязнение вод и донных отложений в прибрежной зоне Арктики РФ.

Еще большие масштабы арктической криоморфолитоогенез может приобрести в связи с реализацией таких масштабных проектов, как строительство и эксплуатация соответственно газового — «Сила Сибири», и нефтяного — Восточная Сибирь — Тихий океан трубопроводов, разработки в Северо-Западной Якутии крупнейшего месторождения редкоземельных металлов Томтор и т.д. (Шац, 2019; Шац, Скачков, 2020). Создание всех этих объектов связано с разномасштабным воздействием на поверхностные геосистемы, в том числе и многолетнемерзлые породы, и сопровождается изменением характера их развития, морфологии, строения и свойств.

Особенности развития антропогенного криолитоморфогенеза Арктической зоны обусловлены территориальными различиями геологического строения, гидрогеологических и ландшафтно-геоморфологических условий, состава и свойств многолетнемерзлых пород, характеристик сезонно-талого слоя, условий теплообмена и др., а также в значительной степени спецификой и длительностью техногенных воздействий.

Антропогенный криолитоморфогенез представляет собой совокупность процессов формирования новых ландшафтно-геоморфологических и литолого-геологических условий в результате разрушения мерзлотного слоя под воздействием техногенных преобразований. Устойчивость возникающих ландшафтов во многом определяется условиями теплообмена и мерзлотными свойствами грунтов.

Глава 12.

ТЕХНОГЕННЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ — ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Человечество уже много тысячелетий изменяет, приспособляет, формирует природные условия под себя. В настоящее время планета покрыта водохранилищами, дорогами, карьерами, дамбами, каналами, значительные площади заняты городами и сельскохозяйственными угодьями. Но чем большее воздействие оказывал человек на рельеф, тем большие последствия возникали от нарушения работы инженерных сооружений. Масштабы этих катастроф вполне сравнимы по масштабам со стихийными бедствиями, так как технические устройства, с одной стороны, аккумулируют энергию и вещество естественной составляющей эмпирических природно-технических систем, а с другой стороны, локализуют антропогенную составляющую, повышая риски как экономические, так и экологические.

С конца XIX в. резко увеличилось и до настоящего времени растет воздействие человека на морфолитосистемы (рельеф и подстилающий субстрат). По подсчетам суммарного многолетнего объема техногенно перемещенного материала, превышение в отдельных странах над объемом многолетней естественной денудации достигает нескольких раз (в Великобритании больше в 2 раза за период 2000 лет) (Sherlock, 1922). Если же взять ежегодные показатели второй половины XX в., то в целом для планеты объем переработанных горных пород (Holdgate, 1982) превышает ежегодный сток всех рек (Judson, 1968) уже на два порядка (Szabó et al. (eds.), 2010). Увеличение площадей трансформированного в той или иной степени рельефа, объема перемещенного субстрата сопровождается достижением все новых максимальных (+180 м, отвалы Loos-en-Gohelle (Франция) и минимальных (-850 м, карьер Chuquicamata (Чили) относительных отметок антропогенного рельефа (рис. 12.1, цв. вкладка).

Но что не менее важно — к стихийной природной компоненте катастрофических последствий от разрушения техногенных объектов прибавились риски опасных производств, сопряженных с антропогенными геоморфологическими системами. В XX в. эта тенден-

ция вполне отчетлива. Катастрофы, связанные с активизируемыми человеком естественными процессами: разрушительные паводки и наводнения (рис. 12.2, цв. вкладка) из-за разрушения плотин (San-Francis Dam, 1928), перелив через них (Vaiont, Италия, 1963), размыв дамб (Крымск, 2012); оползни на терриконах (Aberfan, Великобритания, 1966) и над шахтными разработками, из-за размыва дамб (Венгрия, 2010), лавины, оврагообразование, размыв берегов и пр. Эти процессы усиливаются и дополняются специфическими катастрофами, связанными не только с триггерным эффектом человеческой деятельности, но и непосредственно с антропогенным фактором катастрофы — искусственным субстратом, формирующим антропогенную морфолитосистему. Характерный пример такой катастрофы — прорыв шламового отстойника в Венгрии (2010), когда высокотоксичные отходы сформировали искусственный пролювиальный шлейф, покрывший территорию трех прилегающих городов (рис. 12.3, цв. вкладка).

В геоморфологии этот этап антропогенного развития обозначен выдвижением новой парадигмы, согласно которой *«рельеф есть результат взаимодействия природных эндогенных и экзогенных факторов и факторов жизнедеятельности человека»* (Лихачёва, Тимофеев, 2004). Такая постановка вопроса вполне согласуется с провозглашаемым новым геологическим периодом — *антропоценом* (Steffen et al., 2011). Термин введен в 1980-е годы Ю. Стормером и П. Крутценом (Crutzen and Stoermer, 2000), маркерами для которого являются следы антропогенной деятельности в геологических отложениях, связанные с ядерными испытаниями в 1950–1960-х гг. Кроме радиоактивного загрязнения современных отложений, о наступлении новой эпохи свидетельствует множество других критериев, что подвигло рабочую группу при Международном геологическом конгрессе (Zalasievich et al., 2011; Waters et al., 2014) принять решение о выделении особого геологического этапа.

История исследований

Первые исследования, посвященные теоретическим и практическим разработкам взаимодействий инженерных сооружений, рельефа и грунтов оснований сооружений, относятся к XVIII в. Организациями, в недрах которых оформились истоки морфолитоси-

темного подхода, явились саперные подразделения французской (sapeurs) и английской армий (Corp. of Royal Engineers). Прежде всего, это касается возникновения такого направления, как механика грунтов. В начале XVIII в. (1717) французский королевский инженер Анри Готье (Henri Gautier) разработал понятие «природный склон» для различных типов грунтов, ставшее впоследствии известным как «угол естественного откоса». Классическая геотехническая механика (механика грунтов) берет свое начало в 1773 г. с разработки Шарля Огюстена де Кулона (Charles Coulomb) (Coulomb, 1776), использовавшего законы трения и сцепления для определения истинной поверхности скольжения позади подпорной стенки и случайно определившего критерии деформации грунтов. Эти критерии в комбинации с разработанной позднее (1870) теорией двумерного напряженного состояния К.О. Мора (Christian Otto Mohr) используются по сей день. В этот же ранний период были разработаны метод определения влагопроводности (Henry Darcy), теория Джозефа Буссинеска (Joseph Boussinesq) о распределении напряжений; метод определения глинистой консистенции Альберта Аттерберга (Albert Atterberg).

Расширяясь, направление неизбежно выходило за рамки военных задач. И первым инженером, обозначившим себя как «гражданский инженер», был Джон Смитон (John Smeaton), организовавший Society of Civil Engineers (1771), впоследствии получившее имя своего основателя (Smeatonian Society of Civil Engineers) и объединившее немногочисленных на тот момент английских инженеров, занимавшихся гражданским строительством. Для своей известной конструкции — Эддингстонского маяка Дж. Смитон использовал принцип, подсмотренный в естественной природе, и придал ему форму дуба с присущими элементами корневой системы.

Эмпирический этап исследований техногенно-природного взаимодействия закончился в XIX в., когда промышленная экспансия и рост населения перевели на новый уровень взаимодействие общества и природы. Возросшая степень взаимного воздействия на порядки увеличила реальные и возможные человеческие, финансовые и ресурсные потери от нерационального размещения и функционирования промышленных, транспортных и селитебных объектов и потребовала теоретического осмысления сложившейся ситуации. Промышленная революция в Англии послужила катализатором гражданской инженерии и формированием в 1818 г. Institution of Civil

Engineering — независимой ассоциации гражданских инженеров, существующей до настоящего времени и объединяющей ученых из 150 стран.

Современная гражданская инженерия включает такие разнообразные направления, как наука о материалах, конструкционная инженерия, береговая инженерия (Hughes, 1993; Kraus, 1996; Dean, Dalrymple, 2004; Kamphuis, 2010; Sorensen, 2013); инженерия землетрясений (Arnold, Reuterma, 1982; Housner, Jennings, 1982; Newmark, Hall, 1982; Berg, 1983; Seismic..., 1989; Endowment... 2000; Lindeburg, Baradar, 2001; Bosorgia, Craig, Van Marcke, 2002; Nertero, 2004; Day, 2007; Reuterma, 2012); инженерия окружающей среды (санитарная инженерия) (McGraw-Hill, 1993; Thobanoglous et al., 2003; Davis, Cornwell, 2012), геотехническая инженерия (Shofield, Telford, Lambe, Whitmen, 1969; Holtz, Kovacs, 1981; Bowles, 1988; Kramer, 1996; Terzaghi et al., 1996; Fang, Daniels, 2005; Braia, 2006; Atkinson, 2007; Budhu, 2007; Das, 2010; Dean, 2010; Randolf, 2011; Coduto et al., 2011), водно-ресурсная (гидравлическая) инженерия (строительство инженерных объектов, связанных с водными потоками, — мостов, плотин, дамб, каналов) (Prasuhn, 1987; Zipparro, Hasen, 1992; Cassidy et al., 1998; Finnemore, Franzini, 2002), структурная инженерия (или строительная механика, занимающаяся проблемами структуры сооружений и их прочностью, устойчивостью, стабильностью, но в том числе включающая оценку внешних воздействий, таких, как землетрясения) (Neuman, 1999; Saouma, 2007), съемочная (изыскательская) инженерия (топографическая, гидрографическая, кадастровая и другие виды съемок) (Pugh, 1975; Genovese, 2005), транспортная инженерия (планирование, функциональное проектирование и управление транспортными сооружениями, включая авто- и железные дороги, порты и аэропорты), городская инженерия, контрольная инженерия.

Представленное разнообразие направлений отвечает историческому развитию гражданской инженерии, в основе своей имеющей прикладное значение, с ветвлением на множество субдисциплин, в одних случаях почти теряющих связь друг с другом, а в других случаях почти перекрывающих друг друга по тематике исследований. При конкретных исследованиях, например строительстве моста в городе в сейсмоопасной зоне, довольно трудно отнести эти исследования к одному направлению (водно-ресурсному, транспортному, городскому, береговому, сейсмостойкому или геотехническому). Такая

ситуация связана со сложностью объекта, обладающего собственной структурой и соединенного с множеством сопрягающихся внешних структур и систем разнообразными природно-антропогенными.

Но, несмотря на широкий спектр направлений, основу гражданской инженерии составляет геотехническая инженерия, являющаяся, по сути, синонимом инженерной геологии, значительно выходящая за рамки субдисциплины и включающая в себя механику грунтов и изучение широкого спектра опасных процессов как экзогенного ряда, таких, как оползни, эрозия, подтопление, сели, абразия и др., так и эндогенного, включая сейсмичность и вулканизм, применительно ко всем инженерным сооружениям, дифференцированным по функциональным или прикладным направлениям гражданской инженерии. Последовательное развитие гражданской инженерии привело в конце XIX в. к обособлению инженерной геологии и первым инженером-геологом стал британский геолог У. Пеннинг (William Henry Penning), опубликовавший первую книгу под этим названием (Penning, 1880). Первое американское руководство по инженерной геологии было написано Г. Райзом и Т. Уотсоном в 1914 г. (Ries, Watson, 1914), а в 1925 г. был написан классический труд по механике грунтов австрийского геолога Карла Терцаги (Terzaghi, 1925), впервые применившего термин «механика грунтов» (erdbaumechanic) в 1923 г. и обосновавшего это направление в качестве части инженерной геологии. В рамках инженерной геологии в 1937 г. было обосновано еще одно направление — геодинамическое, которое разработал Ф.П. Саваренский, сформулировавший аксиому о необходимости изучения геологических процессов для прогноза оптимального функционирования инженерных сооружений (1937).

Таким образом, в рамках инженерно-геологического направления сформировались предпосылки системного подхода к изучению взаимодействия инженерных сооружений с геологической средой, включая грунты оснований сооружений и геологические процессы, воздействующие на них.

Техносфера не ограничивается только геологической средой, и неслучайно первое философское осмысление взаимодействия человека и природной среды в целом лежит в сфере географии и связано с исследованиями Д.Н. Анучина, обосновавшего понятие «*антросферы*» в 1902 г. (Анучин, 1949). Развитие этого философского подхода находим в трудах В.И. Вернадского, сформулировавшего концепцию о геологической роли человечества и возникновении «*ноосферы*»

как сферы взаимодействия разума и природы (Вернадский, 1977), а также его ученика А.Е. Ферсмана, который ввел термин «техногенез» для обозначения преобразующей деятельности человека во взаимодействии с литосферой (Ферсман, 1934). В геоморфологии этап осмысления в первой половине XX в. глобальных изменений рельефа определил формирование нового направления — *антропогенной геоморфологии* (Fels, 1957).

Развитие системного подхода к изучению взаимоотношений природы и общества, в рамках географии, определило новый этап, ознаменовавшийся формированием концепции геотехнической системы (ГТС). Геотехническая система при этом понимается как «органическое соединение технических элементов с природными в единое целое» (Герасимов, 1967). Геотехническая система предполагает «планомерное конструирование» (Герасимов, 1967) и управление всеми компонентами в определенных целях. Среди географов, внесших значительный вклад в разработку идеи ГТС, были Л.Ф. Куницын (1970), Л.И. Мухина (1973, 1976, 1985), К.Н. Дьяконов (1978), А.Ю. Ретеюм (1978), Б.В. Виноградов (1981), И.Ю. Долгушин (1982), В.С. Преображенский (1983) и многие другие. В их понимании тесная взаимосвязь естественных и искусственных составляющих геотехнической системы заставляет функционировать ее как единое целое, опираясь на получение управляющих сигналов как с природной, так и технической стороны. Понятие геотехнической системы в рамках географии с самого начала имело широкий смысл, определяемый комплексом компонентов ландшафта или элементами географической оболочки. Исторически такой подход был обусловлен рассмотрением прежде всего воздействия человека на окружающую среду. По мнению некоторых современных исследователей (В.А. Боков и др., 1998), антропосфера и есть глобальная природно-техническая система, хотя с этим довольно трудно согласиться, поскольку далеко не вся деятельность человека является системной и управляемой. Пожалуй, наиболее четко взгляды географов обобщили Э.А. Лихачёва и Д.А. Тимофеев (2004) определившие геотехническую систему как систему, включающую одновременно в качестве подсистем элементы природы, технические объекты и комплексы технологических процессов, взаимосвязь и взаимодействие между которыми определяется единством социально-экономических функций. Проектирование и эксплуатация геотехнических систем должны при этом обеспечивать заданное состояние и функционирование обеих подсистем — природной и технической.

Почти одновременно с понятием «техногенез», введенным А.Е. Ферсманом, в 40–50-х годах XX в. появляется термин «геотехника» (Krynine, Judd, 1957), применительно к взаимодействию инженерных сооружений и грунтов основания в геологической среде. Значительный вклад в развитие системных представлений внес В.Ф. Котлов (1970). В 1980-х гг. инженеры-геологи начинают активно использовать понятие «*природно-техническая система*» (ПТС), понимая под ним систему «геологическая среда — инженерные сооружения». Г.К. Бондарик (1982) определил ПТС как взаимодействие искусственных тел в совокупности с техногенно измененными элементами геологической среды и естественных геологических тел и предложил понятие «литотехническая система». По В.К. Епишину и В.Т. Трофимову (1985), природно-технической системой называется совокупность инженерного сооружения (комплекса инженерных сооружений) с частью геологической среды в зоне его (их) влияния, имеющей операционально фиксированные границы. В.А. Королев и С.К. Николаева (1994) рассматривают взаимодействие геологической среды и инженерных сооружений как двух термодинамических подсистем, разграниченных контрольной поверхностью. Если в двух подсистемах существуют отличные друг от друга потенциалы, то между ними возникают процессы переноса и соответственно изменение свойств подсистем. Если инженерное сооружение «вписано» в геологическую среду, то поля обобщенных потенциалов на переходе меняются плавно, если нет — наблюдается скачок потенциала. В рамках инженерно-геологического направления сформировались и представления инженеров-проектировщиков (Добров, 1980; Перетрухин, Потатуева, 1987), констатирующих необходимость увязки расчетов напряжений в сооружениях со степенью общей устойчивости элементов геологической среды (откосов и природных склонов).

Следует заметить, что в зарубежной практике термин *geotechnical systems* не имеет той широкой смысловой нагрузки, которая сформировалась в результате многолетних разработок советских и российских ученых. Здесь этим термином обозначаются утилитарные технические системы, предназначенные для геотехнических исследований или строительства: элементы конструкций, инженерной защиты сооружений, аппаратура для исследований грунтов и т.п.

Техногенная морфолитосистема и ее свойства

Иерархия — неотъемлемое свойство системы как таковой. Этот вопрос, безусловно, ставился при исследованиях природно-технических систем. При этом во главу угла ставились либо природные, либо инженерные иерархии. Один из примеров в рамках доминирования природных критериев — классификация Н.Н. Хренова (2001, 2003), разработавшего природно-техногенную классификацию на ландшафтной основе в виде природно-антропогенных комплексов (ПАК) на уровне урочищ и природно-техногенных ячеек (ПТЯ) на элементарном уровне (фаций). Противоположный подход предложен А.А. Цернантом (1998), выделяющим многоуровневую систему земельного полотна. Установление разветвленной структуры связей этой системы с природным окружением позволяет создать модель управления при различных технологиях создания и режимах эксплуатации. С целью упорядочения терминологии и классификации природно-технических систем А.Л. Ревзон (1993) предложил использовать термин «природно-технические системы» в качестве широкого понимания антропогенно-природных взаимодействий в рамках разных природных сфер — атмо-, гидро-, био- и гео-. В данном случае предмет геотехнических систем сужен до подтипа ПТС, относящегося только к взаимодействию инженерных сооружений и геологической среды, а на одном иерархическом уровне с ним функционируют «тропотехнические», «биотехнические» и «гидротехнические» системы. Рассматривая представления об особых «геоморфологических» природно-технических системах, можно отметить работы Н.В. Куценко (1991), выделившего «флювиальные геоморфотехнические системы» на основе единого для природного и техногенного компонентов системы потока вещества и энергии, Л.Л. Розанова (1990), определившего «геотехноморфосистему» как взаимосвязанную совокупность форм рельефа, рельефоидов (искусственный рельеф, в том числе поверхность инженерных сооружений) и геотехноморфологических процессов. В подобном ключе проводит исследования В.И. Евдокимов (2001), предлагающий в природно-техническую систему типа «объект — геоморфологическая среда» включать инженерный объект как форму рельефа.

В серии работ лаборатории геоморфологии ИГ РАН (2002) обоснованы концепции актуальности перехода современных геоморфологических исследований к изучению экологических и инже-

нерных свойств рельефа и о современном рельефе как результате взаимодействия не только эндогенных и экзогенных естественных факторов, но и деятельности человека. Последняя концепция легла в основу представлений об антропогенно-геоморфологической системе как общей для всех систем типа «человек — геоморфологическая среда» (Лихачёва, 2010). На основе представлений об «организованности» этих систем как упорядоченном и согласованном пространственном строении (Лихачёва, Тимофеев, 2007) была выдвинута идея о разделении антропогенных геоморфологических систем на четыре основных типа: органично-, конструктивно-, инженерно- и техногенно-организованные системы (Лихачёва, 2012; Антропогенная..., 2013). Эти работы обеспечивают теоретический базис для дальнейших исследований, и в первую очередь разработки системы моделирования, мониторинга и управления техногенными морфолитосистемами, необходимость которой остается весьма актуальной.

Следует отметить, что еще в трудах основоположников инженерной геологии по поводу устойчивости геотехнических сооружений указывалось, что «необходимо устанавливать важнейшие физико-геологические факторы, оказывающие решающее воздействие на процесс, и исключать маловажные факторы» (Терцаги, 1933), а также «при современном состоянии механики грунтов необходимо прибегать к приближенным расчетам, используя модели, принимаемые на основе опыта и интуиции, отражающие лишь наиболее существенные факторы, определяющие работу сооружения, гарантируя его устойчивость» (Герсеванов, Польшин, 1948). Однако недопонимание многофакторности опасных процессов, их первопричин зачастую определяет борьбу не с основными источниками опасности, а только с их следствиями и в результате — неэффективность всех мероприятий инженерной защиты. И хотя отражение двусторонних связей в природно-технических системах до определенной степени просматривается в используемых в настоящее время строительных нормах проектирования, тем не менее единой системы нормативов по проектированию ПТС с учетом прямых и обратных связей, обусловленных воздействием процессов на инженерные сооружения и наоборот, не существует. Отдельные элементы проблемы решаются частными инженерными направлениями, такими, как инженерные изыскания для строительства (СНиП II–02–96), проектирование оснований и фундаментов (СНиП 2.02.01–83), в том

числе в условиях пучинистых и набухающих грунтов, в условиях развития многолетней мерзлоты (СНиП 2.02.04–88), строительство в сейсмических районах (СНиП II –7–81), на подрабатываемых и просадочных территориях (СНиП 2.01.09–91). Ближе всего к решению этой проблемы подошли разработчики норм инженерной защиты территорий и сооружений от опасных геологических процессов (СНиП 2.06.15–85, СНиП 22–02–2003). Однако нормативные документы не дают четких установок по пространственно-временному прогнозу, за исключением ссылок на рекогносцировочное определение границ территорий, подверженных воздействию тех или иных опасных геологических процессов.

Похожая ситуация и с мониторингом, активно развивающимся в различных отраслях географии с 1970-х гг. с принятием ООН положения об экологическом мониторинге (1972) как комплексной системе наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов (в редакции Федерального закона РФ 2001 г.). Тогда же И.П. Герасимовым (1975) был предложен *геосистемный мониторинг* (природно-хозяйственный) как составная часть экологического мониторинга. Но тем не менее до сих пор мониторинг природно-технических систем осуществляется фрагментарно и во многих случаях «бессистемно». Отсутствует слежение за ключевыми объектами — структурными связями в совокупности с определяющими их характер природными и техническими компонентами; наблюдения зачастую проводятся без учета контактного взаимодействия элементов системы и отслеживания причинно-следственных и парагенетических связей, временных последовательностей на разных иерархических уровнях.

Проблема управления природной средой и развитием рельефообразующих процессов впервые рассмотрена с научной точки зрения ровно 100 лет назад (Gilbert, 1917) и была определена активизацией транспорта наносов р. Сакраменто в связи с гидротехническими работами. Наиболее масштабные проекты по управлению комплексами природных процессов связаны с советскими идеями преобразования или улучшения природы, которые относились ко всем отраслям естествознания и объединялись крылатой фразой И.В. Мичурина: «Мы не можем ждать милостей от природы, взять их у нее — наша задача» (Мичурин, 1934). Это проекты переброски стока северных или сибирских рек, создание искусственных

грандиозных потоков, подготовка рельефа для которых осуществлялись с применением в том числе таких экзотических средств, как ядерные взрывы, к счастью не воплотившихся в полной мере. С такой же проблемой «управления природой» столкнулись и лишенные «идеологических» основ американские геотехники (Robinson, Spieker, 1978). «Управление природой» оказалось довольно однобоким, поскольку, получая некоторые заложенные в проект выгоды, не просчитывались или не учитывались прямые или опосредованные потери, связанные с широтой причинно-следственных отношений в затронутых системах и отсутствием прогнозирования их изменений. Именно комплексный подход провозглашался в идеях «конструктивной географии» И.П. Герасимова (1968).

Моделирование — современный метод исследований техногенного морфолитогенеза

Логические модели связей между компонентами техногенной морфолитосистемы позволяют выявить особенности ее строения, функционирования, изменчивости и динамики. На основе моделей можно не только предложить обоснованную структуру мониторинга, но и, что немаловажно, разработать стратегию управления — комплекс целенаправленных мероприятий по:

— использованию особенностей природной геосистемы для хозяйственных целей;

— инженерной организации (в том числе и внедрению инженерных сооружений в геосистему) для осуществления = создания необходимой структуры функционирования антропогенной морфолитосистемы = устойчивого выполнения заданных (планируемых, ожидаемых) функций;

— созданию системы слежения (регулирования, регламентации) состояния системы.

Функции управления, так же как и существование природно-антропогенной системы, имеют конечный срок, своего рода «капля в море» геологического времени. Время существования созданных человеком творений весьма и весьма ограничено!

Принципы и технологии управления техногенными морфолитосистемами

Одним из важнейших направлений развития конструктивной геоморфологии является разработка структуры управления природно-антропогенными взаимодействиями, что в случае техногенных морфолитосистем включает две взаимодополняющие части: *управление территориальными ресурсами* (1) и *управление природно-антропогенными рисками* (2). Управление, в свою очередь, базируется на двух компонентах: *моделировании* (1) и *мониторинге* (2) функционирования морфолитосистем.

При моделировании, разработке структуры мониторинга и управления техногенными морфолитосистемами необходимо опираться на принципы и технологические основы (Шварев, 2013а; 2013б; Лихачёва и др., 2015):

1. Анализ состояния техногенной морфолитосистемы определяется сочетанием: пространственной, временной, техногенно-функциональной (директивная) и природно-вмещающей (инфлюэнтная) составляющих (рис. 12.4).

2. Классификации данных, используемых для анализа состояния ТМЛС, базируются на следующих основаниях:

— пространственная — сопряжение природной (ландшафтно-геосистемной) и инженерно-строительной (нормативной) иерархии;

— временная — сопряжение природной и техногенной изменчивости (цикличности в сочетании с направленным развитием);

— техногенно-функциональная — сопряжение целевого назначения и параметров воздействия;

— природно-вмещающая — сопряжение целевой и внецелевой (непрогнозируемой, побочной) трансформации вмещающих геосистем и их устойчивости в иерархической соподчиненности.

3. Технология анализа состояния и управления техногенной морфолитосистемой определяется созданием динамической иерархической модели с определением набора фоновых и критических показателей, локализации контрольных участков, сочетанием средств контактного и дистанционного контроля и форм отображения контрольных показателей.

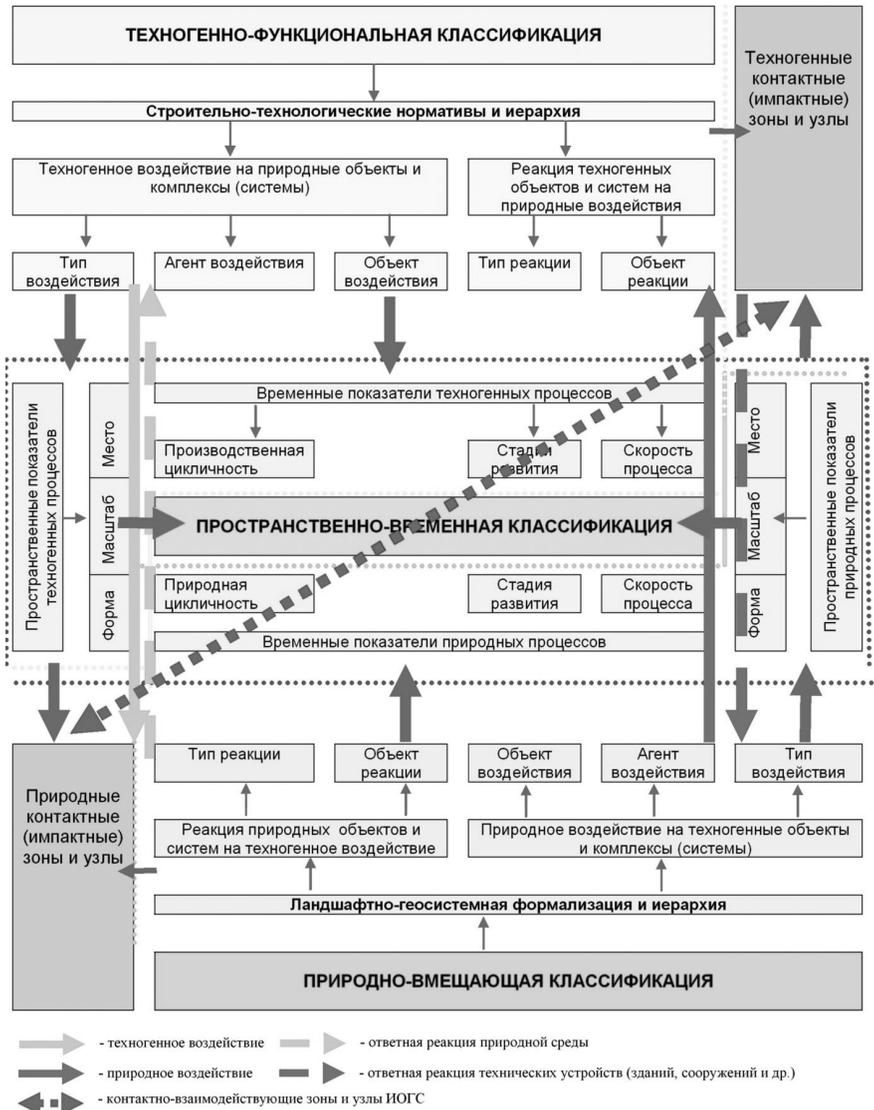


Рис. 12.4. Классификация данных для моделирования техногенной морфолито-системы

Динамическая иерархическая модель техногенной морфолитосистемы создается на основе технологий автоматизированного построения и обновления высокоточных цифровых моделей рельефа (с использованием дистанционных технологий радиолокационного и лазерного сканирования, обработки детальных стереоизображений, спутниковой интерферометрии) и сопряженных ландшафтно-климатических параметров.

Применение разработанной структуры может кардинально улучшить ситуацию с анализом и прогнозом состояния техногенной морфолитосистемы и избежать катастрофических процессов и просто нерациональных, затратных ситуаций.

Структурно-динамическое моделирование морфолитосистем

Моделирование следует понимать как создание образа объекта, в данном случае морфолитосистемы, отражающего присущие объекту свойства. В идеальном варианте свойства морфолитосистемы должны отражаться на любом уровне изучения (детализации) и в режиме реального времени.

Что можно определить в качестве важнейших составляющих моделирования морфолитосистем? На наш взгляд, модель должна включать ряд необходимых компонентов (рис. 12.5), характеризующих структуру, связи, продолжительность и тип воздействия. На этой основе можно построить динамическую модель конкретного случая.

На первом месте для составления модели стоит сбор и систематизация *исходной информации* или формирование *базы данных*. Она включает совокупность геолого-геоморфологических данных, определяющих факторы развития морфолитосистемы. Известны разработки для создания системы литомониторинга, определившие важнейшие составляющие необходимого банка данных (Голодковская и др., 1984), включающие литологические, гидрогеологические, тектонические, морфологические, геохимические и другие параметры. Подобную структуру с определенными дополнениями можно эффективно использовать для моделирования морфолитосистем (Аникина и др., 2013) (табл. 12.1).

Таблица 12.1. Принципиальная схема оценочной базы данных для моделирования техногенной морфолитосистемы

БЛОКИ БАЗЫ ДАННЫХ (ФАКТОРЫ)							
Геологический	Геоморфологический	Гидрогеологический	Геохимический	Геодинамический	Тектонический	Ландшафтный	Техногенный
ПОКАЗАТЕЛИ							
Состав, структура, тип, генезис, возраст, активность, интенсивность							
ОЦЕНОЧНЫЕ (РАСЧЕТНЫЕ) ПАРАМЕТРЫ							
Глубина, мощность, плотность, твердость, пористость, проницаемость, агрессивность, растворимость, напорность, насыщенность, уклон, форма, расчлененность, удаленность, экспозиция, скорость развития, пораженность, проективное покрытие							
ОЦЕНОЧНЫЕ АСПЕКТЫ							
Геотехнический аспект (ГТ) — сложность строительства, оценка воздействия природной среды на сооружения	Геоэкологический аспект (ГЭ) — устойчивость природной среды к техногенным нагрузкам, оценка воздействия инженерных сооружений на природное окружение			Культурно-эстетический аспект (КЭ) — оценка восприятия природно-антропогенной среды населением, сохранение природно-культурных ценностей и улучшение условий жизни			



Рис. 12.5. Логическая модель морфолитосистемы

На следующем этапе определяются *иерархические (масштабные) уровни* обобщения и представления данных в модели. Поскольку традиционно для различных целей (строительство, геологические изыскания, военные применения и др.) используются стандартные уровни картографической генерализации, то оптимально сохранение этих уровней как ступеней для качественного и количественного изменения представления информации в модели, притом что модель должна функционировать с непрерывным масштабированием. Следует учитывать при этом, что масштабный уровень представления модели морфолитосистемы должен зависеть от двух составляющих: 1) величины самой морфолитосистемы, ее частей и буферной зоны (взаимодействие системы с окружением); 2) уровня обобщения и управления, задаваемого социальными и технологическими условиями (табл. 12.2).

Таблица 12.2. Иерархические уровни модели техногенной морфолитосистемы

Уровень модели	Масштаб модели	Уровни управления и проектирования	
		Железные и автомобильные дороги	Городское хозяйство
4. Региональный	1:200 000–1:500 000	Отделение дороги	Регион
3. Местный	1:50 000–1:100 000	Дистанция	Округ
2. Локальный	1:10 000–1:25 000	Околоток	Муниципалитет
1. Детальный	1:1000–1:5000	Участок	Местное управление

Дальнейшее формирование модели — установление *временных интервалов (периодов)* обновления данных. Временные параметры моделирования определяются следующим:

— природными циклическими изменениями факторов, воздействующих на состояние морфолитосистемы (регулярные наблюдения за контрольными параметрами);

— периодами возможных критических изменений в состоянии морфолитосистемы (учащение или разрежение наблюдений в особые периоды;

— скоростями развития морфолитосистемы; скоростями процессов, протекающих внутри нее;

— условиями саморазвития морфолитосистемы и ее обратимыми и необратимыми трансформациями;

— проектными (циклическими) и запроектными (аварийными, с расчетной вероятностью) условиями антропогенных нагрузок от техногенных составляющих морфолитосистемы и от внешних воздействий;

— потребностями долгосрочного планирования мероприятий, средне- и краткосрочной оценки состояния и прогноза изменений морфолитосистемы; принятием экстренных мер для контроля и поддержания устойчивости в критических условиях развития (табл. 12.3).

Таблица 12.3. **Временные параметры обновления модели техногенной морфолитосистемы**

Период обновления	Природные условия	Технические требования	Пространственный уровень			
			1	2	3	4
Декадное	Многолетняя изменчивость	Долгосрочное планирование	x	x	x	x
Годовое		Годовое планирование	x	x	x	x
Сезонное	Сезонная активизация	Квартальное планирование	x	x	x	
Месячное	Активные процессы	Месячное планирование	x	x		
Недельное	Экстремальные процессы	Техногенные аварии	x			
Суточное			x			
Часовое			x			

Еще одним важным компонентом модели является *определение факторов и условий развития морфолитосистемы*, параметров (нормальных и критических) устойчивого состояния (функционирования) морфолитосистемы, и локализации «ключевых» участков («чувствительных» или «определяющих» участков внутри и на границах морфолитосистемы, изменение которых влечет за собой существенные изменения функционирования всей системы). Среди перечисленных ранее основных факторов, влияющих на состояние и развитие техногенной морфолитосистемы, остановимся на последнем — техногенном, поскольку именно этот фактор является регулирующим состояние всей системы и изменение его параметров определяется не стихийной составляющей, а направленным действием.

Техногенный фактор оказывает двойственное воздействие. С одной стороны, изменения параметров рельефа и подстилающих горных пород ведут к возникновению в техногенной морфолитосистеме проблемных ситуаций (рис. 12.6). Но с другой стороны, те же воздействия могут привести к устранению проблемных ситуаций, создаваемых неблагоприятными природными условиями.

Факторы функционирования морфолитосистемы анализируются тремя основными группами методов:

- качественными (экспертное сравнение);
- полуколичественными (балльная оценка);

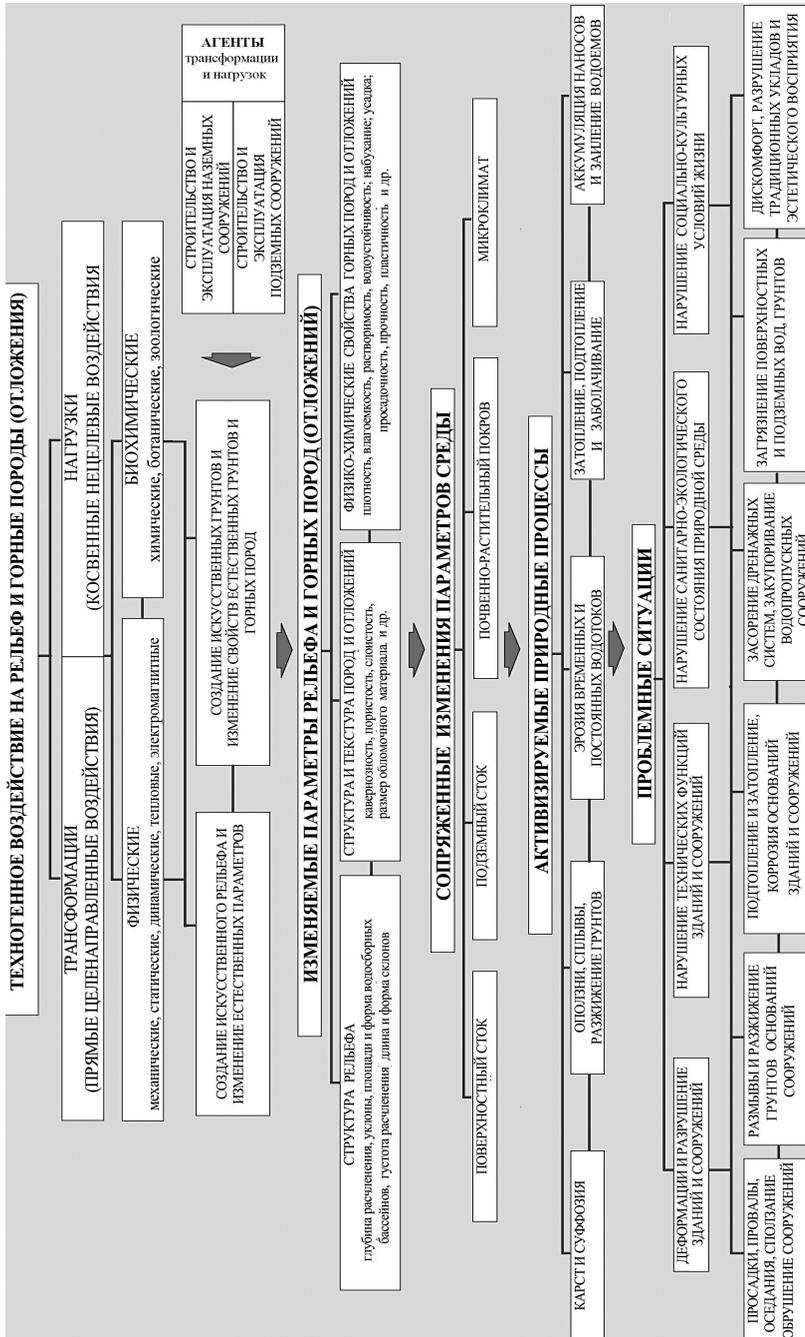


Рис. 12.6. Воздействие техногенной деятельности на возникновение проблемных ситуаций в морфолитосистеме

— количественными (детерминированные и вероятностно-статистические).

Далее определяются критические параметры как «вмещающей» среды, так и антропогенной трансформации. На этом этапе перспективен способ искусственной нейронной сети, позволяющий получать, представлять и рассчитывать многовариантную пространственную информацию, обеспечивая необходимый набор данных для картографирования. Метод нейронной сети является обучающим механизмом обратной связи, работающим с использованием набора образцов входящих и выходящих значений (Garrett, 1994; Paola et al., 1995; Atkinson et al, 1997; Hines, 1997; Lee et al, 2006). Сеть используется как структура для выполнения классификации полного объема данных.

Последующее развитие модели переходит от «внешних» на «внутренние» уровни и определяется созданием *технологического каркаса* функционирования модели морфолитосистемы или *структурированием модели*. Поскольку морфолитосистема представляет собой объективно существующую реальность, то модель морфолитосистемы должна отражать все ее существенные признаки и их состояние и динамику. В основе модели три признака морфолитосистемы: рельеф — субстрат — генезис, — которые дискретизируются и классифицируются в соответствии с известными в геологии и геоморфологии принципами. При этом модель представляет собой определенный объем (геолого-геоморфологическое тело) с взаимосвязанными потоками вещества и энергии. Главным поверхностным (морфологическим) критерием делимости является известная «геоморфологическая триада» (вершина — склон — долина), главным глубинным (литологическим) критерием делимости является состав пород. Пространственно-временной «каркас» модели создается с учетом идентификации контактно-взаимодействующих зон и узлов (внешних/внутренних; природных/антропогенных).

Пространственно-временные и структурные параметры модели определяют следующий компонент — *инструменты* для моделирования морфолитосистемы. Моделирование основано на сочетании традиционного тематического оценочного картографирования в геоинформационной среде с поддержкой банка данных и средств детальной обновляемой информации о рельефе, позволяющей формировать динамические 3D-модели (в форме обновляемой

DEM¹). Современные средства моделирования рельефа, включающие радиолокационные и лазерные данные, получаемые с воздушных (космических) и наземных носителей, обеспечивают отображение морфологических особенностей истинного (без растительного покрова) рельефа с точностью до первых сантиметров. К последним достижениям дистанционного зондирования рельефа относится интерферометрический анализ на основе повторных радиолокационных данных. Эти данные фиксируют изменения абсолютных отметок поверхности на значительных территориях. Сочетание этих двух компонентов — отдельных форм рельефа, проявлений их динамики в сочетании с площадными изменениями высот поверхности — обеспечивает комплексный анализ изменений морфолитосистемы и контроля ее состояния.

И наконец, завершающий этап создания модели — *определение параметров тематического представления* результатов или *целевая направленность* моделирования морфолитосистемы. Как основу стандартного комплексного представления результатов можно предложить использование двух основных составляющих — *ресурсной* и *рисковой*, взаимосвязанных на основе оценки трех компонентов:

1) *геотехнического* (опасность и риск для техногенных объектов от неконтролируемого развития природных процессов, стоимость поддержания устойчивого функционирования техногенной части морфолитосистемы и ущерба от ее нарушения);

2) *геоэкологического* (опасность и риск для природных объектов от направленного или ненаправленного воздействия техногенных процессов, стоимость поддержания устойчивого функционирования природной части морфолитосистемы и ущерба от ее нарушения);

3) *культурно-эстетического* (привлекательность для населения морфолитосистемы в целом и отдельных ее частей), ущерб от изменения культурно-эстетических функций морфолитосистемы) (рис. 12.7, цв. вкладка).

Оценка рельефа по *геотехническим условиям* определяется сложностью территории для проведения строительных работ и базируется на морфометрических показателях (глубина расчленения и уклон), литологии четвертичных отложений и подстилающего коренного субстрата, тектонике (наличие зон разломов в фундаменте, осадоч-

¹ DEM — digital elevation model — цифровая модель рельефа.

ном чехле, развитие геодинамически активных зон), развитии геолого-геоморфологических процессов. К особо неблагоприятным (максимальное количество баллов) относятся территории: с расчлененным, крутосклонным рельефом; сложенные податливыми к гравитационным смещениям и размыву четвертичными отложениями; сопряженные с геодинамически активными зонами, разрывами; с неглубоко залегающими коренными породами, потенциально подверженными активизации экзогенных процессов, таких, как карст в каменноугольных карбонатных породах или блоковое оползнеобразование, связанное с глинистыми юрскими отложениями; с современным развитием опасных для строительства геолого-геоморфологических процессов, таких, как карст и оползни, в меньшей степени овражной и береговой эрозии, заболачивания и подтопления. Напротив, благоприятными геотехническими условиями (минимальная балльная оценка) обладают выровненные участки с мощным, устойчивым к размыву четвертичным чехлом, отсутствием растворимых и пластичных коренных пород и активных проявлений экзогенных процессов.

Оценка рельефа по *геоэкологическим условиям* определяется, с одной стороны, устойчивостью рельефа к потенциальным техногенным воздействиям и возможностью антропогенной активизации разрушительных процессов, а с другой — современной нарушенностью рельефа, связанной с развитием природных процессов и антропогенной деятельностью. Первая часть опирается на анализ параметров рельефа и литологию рыхлых и коренных пород, а вторая — на пораженность естественными процессами и измененность форм рельефа и сопряженных с ними грунтов и подземных вод. Максимально проблемными в геоэкологическом аспекте и неустойчивыми считаются территории с высоким потенциалом неустойчивости рельефа (крутизна и расчлененность), денудационной податливости субстрата (как и в случае геотехнической опасности), сопрягающиеся с параметрами антропогенной нарушенности, при которой затронуты элементы микро- и мезорельефа, поверхностного, грунтового и подземного стока, а также с современной пораженностью экзогенными процессами. Геотехнически и геоэкологически неустойчивые районы тяготеют к речным долинам (наибольшие градиенты рельефа, повышенная неустойчивость склонов, пониженная мощность четвертичного покрова над карстующимися породами, врез, достигающий пластичных юрских глин, способствующих оползнеобразованию, и др.).

Можно ли избежать катастрофических последствий от нарушений системных связей между инженерными сооружениями и вмещающей средой? Увы, пока невозможно, поскольку природная энергия и мобилизуемое естественными процессами вещество несоизмеримо выше того, что может произвести или контролировать человек. Однако в перечне опасных и катастрофических геоморфологических процессов (Embleton et al., 1989), за исключением связанных с сильными землетрясениями и вулканическими извержениями, значительная часть процессов гравитационного, флювиального, нивального, карстово-суффозионного, эолового генезиса вполне предсказуема и в значительной мере контролируема. Поэтому избегать негативных последствий от интеграции сооружений в изменяющуюся среду можно и необходимо. Ведь сооружение, «встраиваемое» в природную морфолитосистему, заведомо предполагает равновесные (динамически равновесные) взаимоотношения с природными компонентами, а значит, поддержание этого равновесия не должно выходить за рамки технических возможностей. Для этого необходимо определить критические параметры технического сооружения и вмещающего природного комплекса, при которых это равновесие нарушается. И здесь невозможно обойтись без системного подхода, так как при взаимодействии технического сооружения и природной среды возникает новая сущность — система, обладающая всеми основными свойствами: целостностью, синергичностью и иерархичностью.

Системный подход является основой формирования модели природно-антропогенного взаимодействия или природно-технической системы, а в приложении к рельефу — техногенной морфолитосистемы. Моделирование само по себе не может решить проблемы безопасной и бесперебойной ее работы техногенной морфолитосистемы: на системных принципах должен осуществляться мониторинг, результатами которого являются место, время и масштаб фактических (фиксируемых) и перспективных (стихийных прогнозируемых и техногенных планируемых) изменений. Эти результаты, в свою очередь, определяют конкретные действия по поддержанию равновесного состояния или целенаправленного изменения системы (управление). Последовательность *моделирование — мониторинг — управление* и обеспечивает обратную связь, является необходимым условием устойчивой работы природно-технической системы.

Практически все природно-техногенные катастрофы последнего времени, включая уже упомянутую аварию со шламовым отстойни-

ком в Венгрии (осень 2010 г.), прорывом плотины водохранилища в США (2017), недавние наводнения в Крымске (лето 2012 г.) и Западной Европе (весна 2013 г.) связаны в той или иной мере с «отказом» в системе «управления», с недостаточным или неграмотным учетом системных взаимосвязей и параметров системных компонентов, недостатком пространственной и временной информации или отсутствием своевременной и адекватной управленческой реакции. В то же время возможности, представляемые современными информационными и коммуникационными технологиями, средствами удаленного контроля и др., достигли если не избыточного, то вполне достаточного уровня.

Весьма актуальной задачей становится сопряжение потребностей системного моделирования и мониторинга с предоставляемой информационной «выборкой», т.е. разработка разноуровневых динамических моделей взаимодействия технических сооружений и вмещающей природной морфолитосистемы, образующих техногенную морфолитосистему. При моделировании необходимо выявление в структуре техногенной морфолитосистемы контактно-взаимодействующих зон и узлов (где продуцируются синергичные свойства системы) и выбор критических параметров, определяющих граничные условия устойчивого состояния системы. Модели техногенной морфолитосистемы предназначены интегрировать многоуровневое кадастровое и оценочное картографирование, средства получения исходной информации, его технологической и предметной обработки, мониторинга, определения пространственно-временных параметров системы. Выходные данные таких динамических моделей естественным образом сопрягаются с исходными параметрами для мониторинга и управления.

Заключение.
«ЛОЖКА ДЕГТЯ» — ЧТО ТАКОЕ
АНТРОПОГЕННЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ?

«В бочке меда имеется ложка дегтя. Это расхожее выражение означает... не знаю точно, что оно означает. Видимо, имеется в виду ситуация, не внушающая особого оптимизма. Но чем именно, позвольте спросить, мешает нам эта ложка дегтя? Какой от нее вред? И что такое вообще деготь?»

П.Г. Вудхаус (2019)

Всякий раз, когда мы употребляем это словосочетание — довольно удачное для определения практической, бытовой и даже научной проблемы, — то пытаемся ответить на перечисленные в приведенной цитате вопросы. И в данном случае: как взаимодействуют активно развивающаяся планета Земля, создавшая и создающая условия для биологически активной компоненты «человеческое общество», а точнее, его деятельности, преобразующей, приспособляющей для своих нужд эти условия, создавая свою экологическую нишу. Уподобляется ли человечество «ложке дегтя» (или червя в яблоке)? Создает ли ситуацию, «не внушающую особого оптимизма»? Или это взаимосвязанные процессы определенной стадии развития планеты? Возможно, стадии «зрелости», а быть может, уже «разрушения»... Н.Ф. Глазовский (2006) сформулировал эту проблему следующим образом: «...система «Человек-Природа» предельно сложная, в ней существуют нелинейные связи. Мы мало знаем о существе проблем. Мы не знаем коэффициентов связей. Даже если мы сможем написать некие формулы взаимодействия или факторного воздействия, то мы не знаем их количественных характеристик, которые позволили бы нам получать какие-то более или менее реальные прогнозы...». Далее Н.Ф. Глазовский пишет: «Сейчас идут разговоры о глобальном потеплении... чрезвычайно сложен вопрос об экологическом кризисе... о проблемах устойчивости биосферы...» По существу, Н.Ф. Глазовский определил круг нерешенных задач и геоэкологии, и геоморфологии, не только антропогенной, но и *теоретической*.

Результаты исследований, приведенные в данной монографии, позволили сформулировать основные концептуальные положения

и прежде всего акцентировать внимание на ошибочности главного тезиса в развитии отношений *природы* и *человека*. Этот тезис «все для человека, все во благо человека» определил тенденции изменения природных условий. Поэтому первые защищаемые положения нашего труда следующие: формирование антропогенно-геоморфологической системы происходит в результате землепользования. Тип землепользования определяет и особенности морфолитогенеза. Преобразовательные процессы направлены на создание «окружающей среды», отвечающей социально-экономическим требованиям людей. При этом предполагается, что создается *управляемая система*. Однако это не соответствует действительности.

Участие человека в формировании антропогенно-геоморфологической системы можно разделить по типу — способу воздействия — вмешательства в развитие природного комплекса и, собственно, морфолитогенеза на три группы: *управляемое* воздействие; *неуправляемое*, но ожидаемое прогнозируемое — ответная реакция на воздействие; *неучтенное*, скрытое, побочное воздействие на механизмы саморазвития природного комплекса.

К группе управляемых процессов морфолитогенеза относятся мероприятия по вертикальному планированию, перестройка структуры речной сети. Управление обеспечивается инженерно-техническими средствами и созданием системы инженерных связей. Инженерные связи обладают определенным сроком действия, но требуют постоянного обновления. Из-за нарушения заданного формата связей «неуправляемые, но ожидаемые воздействия» могут выйти из-под контроля. В этом случае можно сказать, что антропогенный морфолитогенез — совокупность действий — целенаправленных, планируемых и ожидаемых, осуществляемых с использованием технических средств, результатом которых является изменение естественного рельефа, режима рельефообразующих процессов и свойств приповерхностных горных пород, а также создание искусственного рельефа.

Используя термин «окружающая среда», мы остаемся на прежних позициях антропоцентризма. Для современного этапа развития географической оболочки лучше употреблять термин АНТРОПОСФЕРА. Термин предложен еще в 1902 г. Д.Н. Анучиным для обозначения человечества как активного компонента формирования, функционирования и динамики географической среды. Антропосфера — глобальная природно-техническая и социально-экологическая система,

включающая в себя понятия «СОЦИОСФЕРА» и «ТЕХНОСФЕРА» (Селиверстов, Черванев, 1998; Лихачёва, Тимофеев, 2004), имея в виду, что эта «сфера» существует и развивается не «для блага» и не благодаря действиям, а одновременно и с участием человека *эволюционным путем*. И в этом случае АНТРОПОГЕННЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ — совокупность процессов в географической оболочке Земли, формирующих рельеф и осадочный чехол: сложнейших химических реакций, механических (структурно-вещественных) трансформаций внешней и внутренней энергии (Земли как планеты) и практической деятельности человека.

Наша следующая позиция: вмешательство-воздействие людей на природный комплекс, в данном случае на геоморфологическую систему, рассчитано на «согласие природы» исполнять возложенные на нее функции, т.е. функционировать в заданном режиме, сохраняя морфолитологическую и морфодинамическую устойчивость и формируя при этом новые функциональные связи достаточно продолжительное время. Это «согласие» определяется как *адаптационные свойства геоморфологической системы*.

Система сохраняет устойчивое функционирование в меняющихся (и в экстремальных, и в стрессовых) условиях, если ее компоненты успевают адаптироваться-приспособиться к этим изменяющимся условиям. Можно предположить, что если система сохраняет устойчивость в конкретных стрессовых условиях, то такое состояние «запрограммировано» в ее структуре. Сохранение связей в системе (эластичность структуры) определяют как «*память*» системы по Ю.Г. Симонову (2008). Свойством памяти в той или иной степени обладают все геосистемы. Память проявляется в том, что определенные параметры системы зависят не только от ее состояния в данный момент времени, но и от истории процесса (особенностей возникновения и развития геосистемы). По сути, «память» управляет последовательностью действий экзодинамических процессов, направленных на сохранение устойчивого функционирования системы — ее устойчивого морфологического и морфодинамического состояния.

Поскольку «память» — это и происхождение, и тренд развития, и ритмичность-цикличность, и унаследованность, то главными являются морфодинамические связи, к которым можно отнести и гидродинамические, и биохимические связи. Последние, к сожалению, крайне редко рассматриваются при геоморфологических исследованиях.

Вероятно, можно сказать, что антропогенный морфолитогенез в целом инженерно-управляемая совокупность процессов формирования рельефа и осадочного чехла с заданными свойствами и морфодинамическими связями. При этом трансформируются или уничтожаются природные связи, но природная система (по инерции или по «памяти») частично их восстанавливает, что нередко выражается в неуправляемых (незапланированных) реакциях. Их катастрофичность или интенсивность проявления зависит от степени нарушения природных системообразующих связей.

Определение — своего рода формула — структура какого-либо явления, дающая основание раскрыть словами конкретное содержание и связи данного явления. Проведенные исследования дают основания предложить следующие определения антропогенного морфолитогенеза:

1. Совокупность действий людей/человека/общества, изменяющих геоморфологические, геологические, гидрогеологические, геохимические и геофизические свойства литосферы и условия существования людей/человека/общества.

2. Совокупность процессов адаптации природной среды (геолого-геоморфологических условий) к техногенному воздействию.

3. Способ развития и динамики антропосферы и ее свойство.

4. Особенность формирования и функционирования антропогенно-геоморфологической системы.

5. Антропогенно-геоморфологическая система имеет ограниченный срок существования. Она функционирует только при наличии инженерного/хозяйственного управления. Без него это трансформированная природная геоморфологическая система, функциональными связями которой являются процессы выветривания и денудационно-аккумулятивные.

6. Антропогенная геоморфологическая система не обладает способностью к самовосстановлению и самоочищению, так как нарушен, как правило, в ней обмен веществ (метаболизм), свойственный природной системе.

7. В структуру землепользования входят процессы рекультивации и санитарно-гигиенические мероприятия, то есть способы восстановления и нейтрализации негативного влияния непреднамеренно созданными антропогенными действиями. При этом в антропосфере происходит уничтожение структуры некоторых процессов саморазвития и самоочищения и возникают новые, по аналогии с при-

родными, условия. При этом возникающий «новодел» (по образу и подобию природного) все равно остается антропогенным. Это другое *геоэкологическое образование* (форма существования).

Каждый период существования человечества вносит свой вклад в развитие антропосферы. Однако уже существующее состояние антропосферы достаточно сложное и плохо поддается не только прогнозу, но и оценке, прежде всего, оценке трендов развития, так как пока никто не отменял эволюционного развития планеты Земля и ее сфер: атмосферы, гидросферы, биосферы, литосферы и, конечно, антропосферы. «Ситуация, не внушающая особого оптимизма». К.С. Лосев, ссылаясь на А. Печчеи, высказал следующее заключение по поводу отношения человечества к происходящим изменениям в географической среде: «Истинная проблема человечества на данной стадии его существования состоит в том, что оно оказалось неспособным в культурном отношении идти в ногу и полностью приспособиться к тем изменениям, которые сам внес в мир» (Лосев, 2008).

И, в заключение нашего труда, сформулируем понятие антропосферы: **АНТРОПОСФЕРА** — часть географической среды и биосферы, активным элементом-трансформатором-преобразователем которой являются люди/человек/общество, что НЕ отменяет, а иногда и провоцирует активизацию других биологических элементов-компонентов-созидателей биосферы. Особенности развития других (абиотических) сфер Земли определяют и устойчивость («живучесть») геоморфологических систем и направленность **МОРФОЛИТОГЕНЕЗА**. И природного, и антропогенного.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абамов А.П. О комплексной оценке состояния наземных экосистем в Норильском промышленном районе и необходимости разработки региональных экологических нормативов: Достижение науки и техники — развитию норильского промышленного района: Сб. докладов: Ч. 2 / А.П. Абамов. Норильск: Министерство образования РФ: Норильский индустриальный ин-т, 2003. 51 с.

Абатурова И.В., Емельянова И.А. Особенности инженерно-геологических условий г. Надыма // Геология, геофизика и геоэкология: Матер. Уральской горнопромышленной декады (14–23 апреля 2008). URL: <http://nauka.x-pdf.ru/17fizika/430221-1-14-23-aprelya-2008-geologiya-geofizika-geoekologiya-osnovnie-problemi-napravleniya-razvitiya-nauchnih-issledovaniy-prime.php>.

Абатурова И.В., Грязнов О.Н., Стороженко Л.А., Емельянова И.А. Современные природные и техноприродные экзогенные геологические процессы Обь-Надымского междуречья // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2009. № 2. С. 161–171.

Абатурова И.В., Носкова И.А. Исследования причин деградации многолетнемерзлых грунтов на примере г. Надыма // Изв. Урал. гос. горного ун-та. 2007. № 22. С. 75–81.

Абрамович Д.И. Река Пахра как пример малых рек Московской области // Тр. Ин-та географии. Вып. XXXVIII. М.; Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1946. 51 с.

Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шаранов В.А. Водохранилища. М.: Мысль, 1987. 325 с.

Августовский канал. URL: <https://posmotrim.by/article/avgustovskiy-kanal.html>.

Айбулатов Н.А. Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии / Н.А. Айбулатов / Под ред. В.И. Осипова. М.: Наука, 2005. 364 с.

Алексеев В.Г. Переработка берегов каскадных водохранилищ // Современные экзогенные процессы // Труды VII пленума Геоморфологической комиссии АН СССР. Киев, 1968. С. 84–88.

Алексеева О.И., Балобаев В.Т., Григорьев М.Н., Макаров В.Н., Чжан Р.В., Шац М.М., Шепелев В.В. О проблемах градостроительства в криолитозоне (на примере Якутска) // Криосфера Земли. 2007. Т. 11. № 2. С. 76–83.

Алексеева Л.И., Варенцов Е.В., Горбаренко Е.В., Горлач И.А., Еремина И.Д., Жданова Е.Ю., Кирсанов А.А., Кислов А.В., Константинов П.И., Корнева И.А., Локощенко М.А., Назваль Е.И., Ровокатова А.П., Ривин Г.С., Самсонов Т.Е., Сошинская И.В., Чубарова Н.Е., Шиловцева О.А. Климат Москвы в условиях глобального потепления / Под ред. А.В. Кислова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2017. 288 с.

Аналитический доклад Министерства экологии и природопользования Московской области о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2010 г. URL: http://mer.mosreg.ru/red_book/.

Аникина Н.В. Влияние палеорельефа на формирование антропогенной морфолитосистемы (на примере центральной части Москвы) // Антропогенная геоморфология. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 215–221.

Аникина Н.В., Шварев С.В., Неходцев В.А., Самойлова Е.А. Оценка природно-антропогенных геолого-геоморфологических условий Новой Москвы // Геоэкологические проблемы Новой Москвы. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 88–95.

Анисимов О.А., Белолуцкая М.А. Оценка влияния изменения климата и деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру в северных регионах России // Метеорология и гидрология. 2002. № 6. С. 15–22.

Антропогенная геоморфология / Отв. ред. Э.А. Лихачёва, В.П. Палиенко, И.И. Спасская. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. 416 с.

Антропогенное воздействие на окружающую среду Арктической зоны Российской Федерации: Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». URL: gospodklad-ecology.ru.

Антропогенный морфолитогенез на территории Калининградской области. База данных муниципальных образований. URL: www.gks.ru/dbscripts/munst/.

Анучин Д.Н. Избранные географические работы. М.: Географгиз, 1949. 388 с.

Арманд Д.Л. Антропогенные эрозионные процессы / Сельскохозяйственная эрозия и борьба с ней. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 373 с.

Артюхин Ю.В. Антропогенный фактор в развитии береговой зоны моря; Отв. ред. Г.А. Сафьянов. Ростов: Изд. Ростов. н/Д ун-та, 1989. 143 с.

Афанасьев В.В. Геоэкология береговой зоны острова Сахалин / В.В. Афанасьев, Е.И. Игнатов // Проблемы региональной экологии. 2009. № 6. С. 275–280.

Афанасьев В.В. Морфолитодинамические процессы и развитие берегов контактной зоны субарктических и умеренных морей Северной Пацифики. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2020. 234 с.

Афанасьев В.В. Морфолитодинамика лагунных проливов северо-восточного Сахалина // Геоморфология. 2019. № 2. С. 79–94.

Афанасьев В.В. Морфология и динамика берегов и дна пролива Невельского района проектирования постоянного железнодорожного перехода / В.В. Афанасьев, Е.И. Игнатов, С.В. Чистов. Смоленск: Изд-во МГУ, 2008. 128 с.

Афанасьев В.В., Уба А.В., Левицкий А.И. Миграция проливов и морское осадконакопление в лагунах // Геосистемы переходных зон. 2019. Т. 3. № 3. С. 310–317.

Афанасьев В.В., Игнатов Е.И. Геоморфологические аспекты проблемы защиты населенных пунктов на берегах морей в высоких широтах // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 167–172.

Афанасьев В.В., Игнатов Е.И., Уба А.В. Морфогенетическая дифференциация берегов контактных зон Северной Пацифики // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2020. Т. 2. № 2. С. 158–172.

Афанасьев В.В. Количественный анализ разрушения скалистых берегов холодных морей (применение и результаты) // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов («Опасные явления»). 2019. С. 10–12.

База данных муниципальных образований. URL: www.gks.ru/dbscripts/munst/.

Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Картографирование тепловых аномалий Москвы по разносезонным тепловым снимкам // Геоэкологические проблемы Новой Москвы: Сб. науч. тр. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 70–76.

Баранова А.И. О роли оползневых и эрозионных процессов в формировании правого склона долины р. Волги в районе Куйбышевского водохранилища // Геоморфология. 1975. № 1. С. 51–56.

Барановский Е.А., Григорьев Н.Ф. Солифлюкционные сплывы на полуострове Ямал // Исследования мерзлых толщ и криогенных явлений. Якутск: Якут. кн. изд-во, 1988. С. 43–46.

Бардун Ю.Д. Мазурский канал. История проектов и строительства. URL: 21.09.2018Yuri Bardun: <http://www.eastprussia.ru/mazurskij-kanal/>.

Бардун Ю.Д. Мазурский канал: история создания, проекты, строительство // Калининградские архивы. 2016. Т. 13. С. 194–205.

Бардун Ю.Д. Устройство Мазурского канала и его гидротехнических сооружений // Калининградские архивы. 2017. Т. 14. С. 52–69.

Бардун Ю.Д., Лоов Т.О. Мазурский канал. Путеводитель по российской части. Калининград: Тип. «Печатный двор», 2017. 92 с.

Берг Л.С. Лёсс как продукт выветривания и почвообразования // Избранные труды. Т. 3. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 550 с.

Берд Э.Ч.Ф. Изменения береговой линии / Э.Ч. Ф. Берд. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 255 с.

Березинская водная система. URL: <https://freedocs.xyz/docx-182618748>.

Богданов Н.А. Анализ информативности интегральных показателей химического загрязнения почв при оценках состояния территорий // Гигиена и санитария. 2012. № 1. С. 10–13.

Богданов Н.А., Сотсков Ю.П., Свечина Н.Н. Оценка химического загрязнения города Иваново // Метроном: Рос.-герм. журнал здоровой экономики. 1994. № 3–4. С. 50–53.

Богданов Н.А. Экологическое зонирование: научно-методические приемы (Астраханская область). М.: УРСС, 2005. 176 с.

Богословский В.А., Жигалин А.Д., Хмелевской В.К. Экологическая геофизика: Учеб. пособие. М.: МГУ, 2000. 256 с.

Боков В.А., Селиверстов Ю.П., Черванев И.Г. Общее землеведение: Учебник. СПб.: Изд-во СПбУ, 1998. 268 с.

Большов С.И., Неходцев В.А. Потенциальные геоморфологические опасности территории Новой Москвы в связи с ее активной урбанизацией // Геоморфология городских территорий: конструктивные идеи. М.: Медиа-ПРЕСС, 2017. С. 47–56.

Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1982. 256 с.

Борукаев Ч.Б., Буртман В.С. Тектонические окна в Воронцовском покрове // Бюл. МОИП. 1964. № 5. С. 112–118.

Бочевер Ф.М., Поросенков В.И., Язвик Л.С. Подземные воды Москвы и Подмосковья // Городское хозяйство Москвы. 1966. № 10. С. 25–26.

Буланов С.А. Берега волжских водохранилищ в XXI веке // Труды XXXVI Пленума Геоморфологической комиссии РАН. «Геоморфология — наука XXI века». Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2018. С. 82–85.

Буланов С.А. О соотношении понятий «рельеф» и «геоморфология» // Геоморфология. 1997. № 4. С. 9–18.

Буланов С.А. Картографирование гидродинамических условий развития берегов волжских водохранилищ // Картография, геоинформатика и дистанционное зондирование: вызовы XXI века. М.: Полиграфия «СВС-Дизайн», 2019. С. 26–37.

Бутаков Г.П. Возраст оползней и некоторые вопросы палеогеографии правобережья Волги южнее Ульяновска // Геогр. сборник. № 5. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1970. С. 71–82.

Бутюгин В.В., Гулан Е.А. Геодинамическая и геоэкологическая безопасность хвостохранилищ в Норильском промышленном районе // Горный инфор.-аналит. бюлл. 2005. № 1. С. 122–126.

Васильцов В.С., Яшалова Н.Н., Новиков А.В. Климатические и экологические риски развития прибрежных арктических территорий // Арктика: экология и экономика. 2021. Т. 11. № 3. С. 341–352. URL: klimaticheskie-i-ekologicheskie-riski-razvitiya-pribrejnyh-arkticheskikh-territor.pdf — Яндекс. Документы (yandex.ru).

Вендров С.Л. Экзогенные процессы на крупных водохранилищах. Современные экзогенные процессы // Труды VII Пленума Геоморфологической комиссии АН СССР. Киев, 1968. С. 29–35.

Вендров С.Л., Маккавеев Н.И., Мельникова Г.Л., Широков В.М. Эволюция берегов и дна водохранилищ // Инженерно-географические проблемы проектирования и эксплуатации крупных равнинных водохранилищ. М.: Наука, 1972. С. 7–49.

Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Кн. 2. Научная мысль как планетное явление. М.: Наука, 1977. 191 с.

Википедия. [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Волга](https://ru.wikipedia.org/wiki/Волга).

Виноградова О.Л. Оценка репрезентативности показателей интенсивности земледелия (на примере стран Европы) // *Геогр. вестник (Пермь)*. 2020. № 2. С. 62–74.

Виноградов Б.В. Преобразованная Земля. М.: Мысль, 1981. 295 с.

Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978. 250 с.

Воробьев А.Ю. Типы и особенности проявления морфолитогенеза в пойменной части долины Оки в ее среднем течении: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.25 / Воробьев А.Ю. М., 2018. 22 с.

Воронцова Ю.В. Состояние и направления совершенствования воспроизводства земельных ресурсов в Курской области // *Новые технологии / New Technologies*. 2012. № 2. С. 143–147.

Воскресенский К.С., Чистов С.В. Термоэрозия при линейном строительстве // *Исследования устойчивости геосистем Севера*. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 145–192.

Генеральный план Центрального сельского поселения Кимрского района Тверской области. Обосновывающие материалы, 2010. URL: [Gen_plan_1.docx \(yandex.ru\)](#).

Географический энциклопедический словарь. Понятия и термины / Гл. ред. А.Ф. Трапезников. М.: Сов. энциклопедия, 1988. 432 с.

Геологические тела (терминологический словарь) / Под ред. Ю.А. Косыгина, В.А. Кулдышева, В.А. Соловьева. М.: Недра, 1986, 334 с.

Геоморфология городских территорий: конструктивные идеи / Отв. ред. Лихачёва Э.А. М.: Медиа-ПРЕСС, 2017. 176 с.

Геофизические методы исследования: Учеб. пособие: [Хмелевской В.К., Попов М.Г., Калинин А.В., Горбачев Ю.И., Шевнин В.А., Фадеев В.Е.] / Под ред. В.К. Хмелевского. М.: Недра, 1988. URL: [geokniga-geofizicheskie-metody-issledovaniya.pdf](#).

Геоэкологические проблемы Новой Москвы: Сб. науч. тр. / Отв. ред. А.В. Кошкарев, Э.А. Лихачёва, А.А. Тишков. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. 120 с.

Геоэкология Москвы: методология и методы оценки состояния городской среды / Отв. ред. Г.Л. Кофф, Э.А. Лихачёва, Д.А. Тимофеев. М.: Медиа-ПРЕСС, 2006. 200 с.

Герасимов И.П. Преобразование природы и развитие географической науки в СССР. М., 1967, 96 с.

Герасимов И.П. О движении почвенно-грунтовых масс на склонах // *Новые пути в геоморфологии и палеогеографии*. М.: Наука, 1976. С. 115–133.

Герасимов И.П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды // *Изв. АН СССР. Сер. геогр.* 1975. № 3. С. 13–25.

Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: Учеб. пособие. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.

Герсеванов Н.М., Польшин Д.Е. Теоретические основы механики грунтов и их практические применения. М.: Стройиздат, 1948. 247 с.

Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР: водохранилища Верхней Волги. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 291 с.

Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР: Куйбышевское и Саратовское водохранилища. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 269 с.

Гитис В.Г., Дерендяев А.Б., Петрова Е.Н. ГИС-технология анализа геодинамических процессов // Современные методы и технологии цифрового моделирования рельефа в науках о Земле. М.: Медиа-ПРЕСС, 2016. С. 53–64.

Глазовский Н.Ф. Есть ли будущее у человечества? // Природа. 2006. № 8. С. 63–64.

Голодковская Г.А., Лебедева Н.И. Инженерно-геологическое районирование территории Москвы // Инж. геология. 1984. № 3. С. 87–102.

Голосов В.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с.

Горелов С.К. Эколого-геоморфологическая оценка центральных районов Русской равнины. Карта масштаба 1:1 млн. М.: ИГ РАН, 2006. 1 л.

Горин С.Л. Морфодинамика Октябрьской косы (Охотоморское побережье Камчатки) / С.Л. Горин, Е.И. Игнатов, Е.А. Кравчуновская, Д.В. Корзинин, И.И. Тембрел // Матер. XXIV Междунар. береговой конф., посвященной 60-летию со дня основания Рабочей группы «Морские берега». СПб.: Изд-во РГМУ, 2012. С. 94–97.

Город — экосистема / Э.А. Лихачёва, Д.А. Тимофеев, М.П. Жидков и др. М.: Медиа-ПРЕСС, 1996. 336 с.

Горшков С.П. Концептуальные основы геоэкологии: Учеб. пособие. Смоленск: Изд-во Смолен. гуманитар. ун-та, 1998. 448 с.

ГОСТ Р 5272–68. Коррозия металлов. Термины. М.: ИПК «Изд. стандартов», 1968. 12 с.

Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Тверской области в 2020 году». Тверь, 2021. URL: Госдоклад за 2020_год.pdf (yandex.ru).

Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2016 году» / Министерство промышленности, природных ресурсов, энергетики и транспорта Республики Коми: ГБУ РК «ТФИ РК». Сыктывкар, 2017. 179 с.

Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2018 году». Красноярск, 2019 (Норильск). С. 124–127. URL: Gosdoklad.pdf (krskstate.ru).

Гребенец В.И., Толманов В.А., Хайрединова А.Г., Юров Ф.Д. Проблема размещения отходов в арктических регионах России // Проблемы региональной экологии. 2019. № 3. С. 63–67.

Григорьев А.А. Закономерности строения и развития географической среды: Избранные теоретические работы. Т. 1. М.: Мысль, 1966. 386 с.

Григорьев Н.Ф. Формирование техногенных мерзлотных ландшафтов в северных районах Тюменской области // Техногенные ландшафты Севера и их рекультивация. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. С. 35–44.

Гродненская региональная таможня. Официальный сайт. [19.04.2019]. URL: <http://www.grt.customs.gov.by/ru/grt-news-ru/view/turisticheskij-potok-cherез-punkt-propuska-lesnaja-rudavka-vyros-na-18-v-2018-godu-10682-2019/>.

Гродненская область. Туристская карта. РУП «Белкартография». Минск, 2007.

Громадский А.Н. Основные факторы, оказывающие воздействия на вечномёрзлые грунты и анализ их взаимодействия // Науч. вестник ЯНАО № 4 (93). Экология Арктики. № 4 (93). Салехард, 2016. С. 20–23.

Груздев В.С. Комплексная оценка техногенного воздействия предприятий черной металлургии на окружающую среду центра Европейской России: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М.: Гос. ун-т по землеустройству, 2010. 42 с.

Гумилев Л.Н. География этногенеза в исторический период. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 280 с.

Гуревич Ф.Д. Древности северо-западных областей РСФСР в I тысячелетии н.э. (Отдельный оттиск): Материалы и исследования по археологии СССР. № 76. М.–Л., 1960. С. 328–452.

Дебольский В.К. Волжские берега // Экология и жизнь. 2000. № 1. С. 44–47.

Дедков А.П., Бастраков Г.В. Экзотектоническая складчатость платформ. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1967. 68 с.

Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учебник. [Электронное изд. сетевого распространения] / Е.А. Балдина, И.А. Лабутина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: КДУ: Добросвет, 2021. 269 с. URL: <https://bookonline.ru/node/6333>.

Динамика изменения земельного фонда Тверской области. URL: Динамика изменения земельного фонда Тверской области | Тверской Дайджест (otveri.info) 2014.

Днепро-Бурский канал сегодня. URL: <https://www.belarusinfo.by/ru/poisk/9875.html>.

Добров Э.М. Совершенствование методов оценки устойчивости откосов земляного полотна автомобильных дорог // Оценка инженерно-геологических условий и расчет устойчивости склонов и откосов при проектировании земляного полотна в сильнопересеченной местности. М., 1980. С. 62–68.

Добровольский В.В. Гипергенез четвертичного периода. М.: Недра, 1966. 238 с.

Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2018 году. М.: Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. [Электронный ресурс]. URL: ecology.moscoweco.ru/report_result/o_452195.

Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Курской области в 2011 году. URL: <http://www.ecolog46.ru/index.php?item=176&node=13&task=show&type=nodes>.

Доклад о состоянии и использовании земель в Курской области за 2013 год. Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Курской области. Курск, 2013. URL: Доклад о состоянии и использовании земель в Курской области (с. 12) | Контент-платформа Pandia.ru.

Доклад о состоянии и использовании земель в Курской области за 2018 г. URL: Доклад землеустройство за 2018 по Курской области.doc — Яндекс.Документы (yandex.ru).

Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Курской области в 2019 г. Администрация Курской области. Курск, 2020. URL: Doklad_2020_-2.pdf — Яндекс.Документы (yandex.ru).

Доклад о состоянии окружающей среды Тамбовской области в 2011 г. URL: http://www.opr.tambov.gov.ru/files/OperMonitoring/2011/Doc_2011.pdf.

Долгушин И.Ю. Индустриальные геотехнические системы // Взаимодействие хозяйства и природы в городских и промышленных геотехсистемах. М.: ИГ АН СССР, 1982. С. 100–106.

Долотов Ю.С. Проблемы рационального использования и охраны прибрежных областей Мирового океана / Ю.С. Долотов, С.Б. Шлихтер. М.: Науч. мир, 1996. 303 с.

Долотов Ю.А., Парфенов А.А. Подземные горные выработки на территории Новой Москвы // Геоэкологические проблемы Новой Москвы. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 94–107.

Домнин Д.А., Чубаренко Б.В. Атлас речных трансграничных бассейнов Калининградской области. Калининград: Терра Балтика, 2007. 38 с.

Дьяконов К.Н. Становление концепции геотехнической системы // Вопросы географии. Т. 108. М.: Мысль, 1978. С. 54–63.

Дэвис В.М. Геоморфологические очерки. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 455 с.

Емельянова И.А., Грязнов О.Н., Абатурова И.В., Стороженко Л.А., Петрова И.Г. и др. Прогноз изменения инженерно-геологических условий городской инфраструктуры в криогенной зоне Западной Сибири // Научно-технический отчет № 16.740.11.0677 от 07 июня 2011 г. и дополнение от 20 июля 2011 г. № 1. Екатеринбург: Урал. гос. горный ун-т. 110 с.

Епишин В.К., Трофимов В.Т. Особенности взаимодействия геологической среды и инженерных сооружений // Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты / Под ред. акад. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1985. С.32–36.

Еременко Е.А., Фузеина Ю.Н., Ворошилов Е.В., Власов М.В., Бредихин А.В. Антропогенная трансформация рельефа Воркутинского промышленного района // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2021. № 1. С. 3–15.

Жданов Д.В. Особенности строительства и проблемы городов в условиях криогенных процессов // Матер. Уральской горнопромышленной декады. Геология, геофизика и геоэкология (9–18 апреля 2007). С. 31.

URL: http://science.ursmu.ru/upload/doc/2013/05/16/geologiya_geofizika_i_geoeкологиya_2.pdf.

Жигалин А.Д. Геофизические поля — фактор экологии // Наука в России. 2002. № 2. С. 90—93.

Жигалин А.Д., Кофф Г.Л., Локшин Г.П., Просунцова Н.С. Проблемы техногенного физического загрязнения геологической среды больших городов // Инж. геология. 1984. № 6. С. 74—82.

Зайцева И.С. Волга // Большая российская энциклопедия. Т. 5. М., 2006. С. 614—616.

Законнов В.В. Происхождение и трансформация грунтов водохранилищ Волги // Природно-ресурсные, экологические и социально-экономические проблемы окружающей среды в крупных речных бассейнах. М.: Медиа-ПРЕСС, 2005. С. 82—94.

Замки и укрепления Немецкого Ордена в северной части Восточной Пруссии: Справочник / Авт.-сост. А.П. Бахтин; Под ред. В.Ю. Курпакова. Калининград: Terra Балтика, 2005. 208 с.

Зверева В.П. Техногенные воды оловорудных месторождений Дальнего Востока // Геоэкология, инж. геология, гидрогеология, геокриология. 2007. № 1. С. 51—56.

Земельный кодекс РФ от 25.10.2001 № 236-ФЗ (ред. от 01.11.2017). URL: https://dogovor-urist.ru/кодексы/земельный_кодекс/ред-01.11.2017/.

Зигерт Г.Е. Пролег путь водный в град Петра // Вышневолоцкий историко-краеведческий альманах. 2002. № 6. С. 16—24. URL: <http://vischnyvolochok.ru/wika/wika6/wika6-4.php>.

Зубенко Ф.С. Берега Куйбышевского водохранилища // Берега Куйбышевского водохранилища. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 154—188.

Иванов Н.Н. Антропогенные рельефообразующие процессы на орошаемых землях Сарпинской низменности // Геоморфология. 1982. № 1. С. 44—47.

Иглоцкий С.А. Антропогенные изменения мерзлотных условий Европейского Севера и их последствия // Геоэкология, инж. геология, гидрогеология, геокриология. 2013. № 1. С. 53—60.

Инновационные и интеграционные процессы в регионах и странах СНГ / Отв. ред В.М. Котляков. М.: Медиа-ПРЕСС, 2011. 216 с.

Игнатов Е.И. Береговая морфосистема как объект геоморфологических исследований // Геоморфология. 2005. № 2. С. 3—11.

Информационный выпуск «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2020 году» / Общ. ред. А.В. Разин; Министерство экологии и природопользования Московской области, 2021. URL: Информационный выпуск «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2020 году» (mosreg.ru).

Искусственные водные пути. Березинский канал. URL: Искусственные водные пути. Березинский канал. Карты. URL: <http://www.karty.by/2011/03/12/berezino1/>.

Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В., Казакова Е.Н., Морозов Г.Л. Селевые процессы в бассейне р. Мзымта (Красная Поляна) и их влияние на территорию строительства объектов Олимпийского комплекса // *Геоэкология*. 2013. № 6. С. 516–529.

Камелин М.П., Жабин В.Ю. Особенности инженерно-геокриологических условий Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения // *Экспозиция Нефть Газ*. 2017. № 1(54). С. 20–22.

Караваев В.А., Семиноженко С.С. Морфометрия рельефа и особенности селепроявления на северном склоне Большого Кавказа // *ДАН*. 2019. Т. 487. № 4. С. 438–442.

Касимов Н.С., Власов Д.В., Никифорова Е.М. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.

Касимов Н.С., Воробьев А.Е. Геохимические барьеры в зоне гипергенеза. М.: Изд-во МГУ, 2002. 395 с.

Касимов Н.С., Герасимова М.И. Геохимия ландшафтов и география почв. Смоленск: Ойкумена, 2002. 454 с.

Касимов Н.С., Кошелева Н.К., Сорокина О.И. и др. Эколого-геохимическое состояние почв г. Улан-Батор (Монголия) // *Почвоведение*. 2011. № 7. С. 771–784.

Климаты и ландшафты Северной Евразии в условиях глобального потепления: Ретроспективный анализ и сценарии / Под ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС, 2010. 220 с.

Ковалев С.Н., Чалов Р.С. Типы взаимосвязи инфраструктуры населенных пунктов с эрозионно-русовыми системами // *Геоморфология*. 2021. № 2. С. 52–62.

Козлова А.Е., Некрасова Л.А. Эколого-геоморфологические исследования на севере Западной Сибири. Рельеф среды жизни человека (экологическая геоморфология) / Отв. ред. Э.А. Лихачёва, Д.А. Тимофеев. М.: Медиа-ПРЕСС, 2002. С. 135–149.

Колесникова О.В. Исследование влияния строительных техногенных воздействий на формирование природно-техногенной системы в криолитозоне: на примере г. Норильска: Дис. ... канд. техн. наук: 11.00.11 — Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. М., 1999. 211 с.

Коммонер Б. Замыкающая круг. Л.: Наука, 1974. С. 32.

Копосов Е.В., Соболев И.С., Ежков А.Н. Прогнозирование абразионной и оползневой опасности побережий Волжских водохранилищ // *Вестник МГСУ*. 2013. № 6. С. 170–176.

Королев В.А., Николаева С.К. Геоэкологическая оценка зон влияния инженерных сооружений на геологическую среду // *Геоэкология*. 1994. № 5. С. 25–37.

Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С., Ясинский С.В. Полиструктура водного баланса и водных ресурсов в бассейне Волги // *Природно-ресурсные, экологические и социально-экономические проблемы*

окружающей среды в крупных речных бассейнах. М.: Медиа-ПРЕСС, 2005. С. 46–57.

Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Антропогенное воздействие на сток реки Москвы. М.: МАКС Пресс, 2015. 168 с.

Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Гидрологические последствия изменения землепользования в бассейне реки Москвы // Изв. РАН. Сер. геогр. 2015. № 5. С. 38–454.

Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Современные тенденции изменения поверхностных водных ресурсов Московского региона // Геоэкологические проблемы Новой Москвы. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 27–32.

Коришнова Л.М. Оценка техногенных нагрузок на природную среду предприятиями угольной промышленности г. Воркуты // Горный информ.-аналит. бюллетень. 1999. № 7. С. 161–163.

Котлов В.Ф. Антропогенные геологические процессы и явления // Вопросы инж. геологии. М.: Наука, 1970. С. 141–154.

Котляков В.М. Избранные сочинения. Кн. 3. География в меняющемся мире. М.: Наука, 2001. С. 67.

Котляков В.М., Комарова А.И. Туризм: природа — культура — путешествия: Пятиязычный словарь. Русский (с краткими дефинициями), английский, французский, испанский, немецкий. М.: ИД «Кодекс», 2013. 672 с.

Куйбышевское водохранилище. Географические аспекты водоохран-ных мероприятий. М.: Экопресс, 2004. 320 с.

Кулаков В.И. История Пруссии до 1238 года. М.: Индрик, 2003. 402 с.

Кулюкин А.С. Экологические проблемы земельных ресурсов Московской области: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: Гос. ун-т по землеустройству, 2004. 26 с.

Куницын Л.Ф. Освоение Западной Сибири и проблема взаимодействия природных комплексов и технических систем // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1970. № 1. С. 21–26.

Куценко Н.В. Управление эрозионно-аккумулятивными процессами с помощью флювиальных геоморфотехнических систем // Современные направления географических исследований: ХГУ. Харьков, 1991. С. 84–94.

Литвин Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. 255 с.

Лихарев Б.В. Эколого-геологические условия города Салехарда. Уральская государственная горно-геологическая академия // Матер. Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 17–19 декабря 2002 г.). Екатеринбург: УГГА, 2002. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-geologicheskie-usloviya-goroda-saleharda/viewer>.

Лихачёва Э.А. Антропогенно-геоморфологические системы // Геоморфологические системы: свойства, иерархия, организованность. М.: Медиа-ПРЕСС, 2010. С. 176–181.

Лихачёва Э.А. Особая антропогенно-геоморфологическая система // Антропогенная геоморфология. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 174–179.

Лихачёва Э.А. Рельеф — его сущность и красота. М.: Медиа-ПРЕСС, 2015. 144 с.

Лихачёва Э.А. Что изучает антропогенная геоморфология? // Геоморфология. 2012. № 3. С. 3–9.

Лихачёва Э.А., Аникина Н.В., Маккавеев А.Н. Трансформация водосборных бассейнов центра Москвы под влиянием градостроительства // Изв. РАН. Сер. геогр. 2021. Т. 85. № 1. С. 136–145.

Лихачёва Э.А., Евина А.И., Жидков М.П. Историко-эколого-геоморфологические особенности месторасположений городов Московского княжества в бассейне средней Оки // Природно-ресурсные, экологические и социально-экономические проблемы окружающей среды в крупных речных бассейнах. М.: Медиа-ПРЕСС, 2005. С. 352–363.

Лихачёва Э.А., Маккавеев А.Н., Локишин Г.П. Этапы и стадии развития водосборных бассейнов малых рек на урбанизированных территориях (на примере г. Москвы) // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 5. С. 103–111.

Лихачёва Э.А., Тимофеев Д.А. Экологическая геоморфология: Словарь-справочник. М.: Медиа-ПРЕСС, 2004. 240 с.

Лихачёва Э.А., Тимофеев Д.А. К иерархии геоморфологических систем с позиций их организованности // Геоморфология. 2007. № 4. С. 3–8.

Лихачёва Э.А., Шварев С.В., Некрасова Л.А. и др. Современные тенденции развития конструктивной (экологической) геоморфологии. Современная геоморфология // Вопросы географии. Т. 140. 2015. С. 72–86.

Локишин Г.П., Чеснокова И.В. Транспортные магистрали и геологическая среда: (Оценка техногенного воздействия). М.: Наука, 1992. 112 с.

Лосев К.С. Мифы модернизма как основа изменения климата // Изменения состояния окружающей среды в странах содружества в условиях текущего изменения климата / Отв. ред. акад. В.М. Котляков. М.: Медиа-ПРЕСС, 2008. С. 4–9.

Лукьянова С.А., Холодилин Н.А. Протяженность береговой линии Мирового океана и различных типов берегов и побережий // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1975. № 1. С. 48–54.

Лушихин Н.Н. Гидрографическая сеть // Природа города Москвы и Подмосковья. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1947. С. 60–109.

Лымарев В.И. Морские берега и человек / В.И. Лымарев. М.: Наука, 1986. 293 с.

Лымарев В.И. Береговое природопользование: вопросы методологии, теории, практики / В.И. Лымарев. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2000. 168 с.

Маккавеев А.Н., Махорина Е.И. Технопогребенные долины как один из активнейших компонентов морфолитосистемы крупных городов // Очерки по геоморфологии урбосферы. М.: Медиа-ПРЕСС, 2009. С. 291–312.

Матарзин Ю.М., Новосельский Ю.И. Гидролого-морфологическое районирование равнинных водохранилищ долинного типа // Водные ресурсы. 1983. № 3. С. 84–93.

Матвеев Н.П. Сток рек южной части Московской области // Моск. обл. пед. ин-т им. Н.К. Крупской. 1961. С. 3–140. (Уч. зап. Т. ХСП).

Материалы заседания по мониторингу правоприменительной практики земельно-имущественных отношений в субъектах РФ ЦФО (ГНУ «ВНИИ СХ РАСХН им. В.В. Докучаева», ВГАУ им. К.Д. Глинки, ОАО «Белгородский земельный фонд», Ассоциация «Центрально-Черноземная» и др.). Воронеж, 2011. URL: www.chernozem.ru/uploads/events/doc/new_17.03.11.doc.

Маций С.И., Сухляева Л.А., Лесной В.А. Рекомендации по организации мониторинга сельских процессов на автомобильных дорогах (на примере участка дороги от Сулимовского ручья до с. Эсто-Садок) // Геориск. 2018. Т. XII. № 4. С. 58–64.

Медведев А.А., Кошкарев А.В., Шварев С.В. Новые информационно-телекоммуникационные технологии сбора и организации пространственных данных для обеспечения экологической безопасности // Матер. Междунар. науч. конф. государств — членов ОДКБ «Проблемы безопасности окружающей среды». Ереван: Изд-во «Гитутюн» НАН РА, 2016. С. 131–138.

Мечников Л.И. Цивилизация и великие исторические реки: Статьи / Сост. В.И. Евдокимов. М.: Прогресс—Пангея, 1995. 464 с.

Мещеряков Ю.А. Морфоструктура равнинно-платформенных областей. М.: Ин-т географии АН СССР, 1960. 112 с.

Мизин И.А. Справочник эколога. 2014. № 8 (20). Август. URL: [SEKO_8_20.indd \(rus-arc.ru\)](#).

Милановский Е.В. Оползни Среднего и Нижнего Поволжья и меры борьбы с ними. М.—Л., 1935.

Мичурин И.В. Итоги шестидесятилетних трудов по выведению новых сортов плодовых растений. 3-е изд. М., 1934.

Молодкин П.Ф., Иванов Н.Н. Ирригационный рельеф южнорусских степей и его классификация // Геоморфология. 1980. № 2. С. 36–39.

Москва. География и город / Гл. ред. В.И. Осипов, О.П. Медведев. М.: Моск. учебники и картолитография, 1997. 399 с.

Мудрецы Китая: Ян Чжу, Лецзы, Чжуанцзы. СПб.: Петербург — XXI век, 1994. 416 с.

Мухина Л.И. Принципы и методы технологической оценки природных комплексов. М.: Наука, 1973. 95 с.

Мухина Л.И., Преображенский В.С., Ретеюм А.Ю. География, техника, проектирование. М.: Знание, 1976. 48 с.

Мухина Л.И., Толстихин О.Н. Природа и научно-техническая революция. М.: Недра. 1985. 72 с.

Назаров Н.Н., Тюняткин Д.Г., Фролова И.В., Черепанов А.Н. Береговые дуги водохранилищ как регулятор геодинамических процессов // Теоретические проблемы современной геоморфологии. Теория и практика изучения геоморфологических систем // Тр. 31 Пленума Геоморфологической комиссии РАН. Астрахань: Техноград, 2011. Ч. II. С. 319–323.

Население Москвы по округам и районам // Население субъектов Российской Федерации. Официальный сайт Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/Wiki>.

Невзоров А.Л. Город на болоте: Монография / А.Л. Невзоров, А.В. Никитин, А.В. Заручевных; Министерство образования и науки Российской Федерации; Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. Архангельск: САФУ, 2012. 158 с.

Невзоров А.Л. Геологические условия Архангельска // Очерки по геологии и полезным ископаемым Архангельской области. Архангельск: Поморский гос. ун-т, 2000. С. 126–135.

Некрасова Л.А. Аграрный морфогенез — один из древнейших видов антропогенного преобразования природного ландшафта: Антропогенная геоморфология / Отв. ред. Э.А. Лихачёва, В.П. Палиенко, И.И. Спасская. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 89–103.

Несмеянов С.А. Геоморфологические аспекты палеоэкологии горного палеолита (на примере Западного Кавказа). М.: Науч. мир, 1999. 392 с.

Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И., Лихачёва Э.А., Черногаева Г.М., Некрасова Л.А. Оценка трансформации социально-экономической и природной среды Центрального федерального округа РФ // Инновационные и интегральные процессы в регионах и странах СНГ. М.: Медиа-ПРЕСС, 2011. С. 48–67.

Низовцев В.А., Постников А.В., Снытко В.А., Фролова Н.Л., Чеснов В.М., Широков Р.С., Широкова В.А. Исторические водные пути севера России (XVII–XX вв.) и их роль в изменении экологической обстановки. Экспедиционные исследования: состояние, итоги, перспективы. М.: Тип. «Парадиз», 2009. 298 с.

Никифорова Е.М., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Новикова О.В. Пространственно-временные тренды загрязнения городских почв и растений соединениями свинца (на примере Восточного округа Москвы) // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2010. № 1. С. 11–19.

Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Фракционный состав соединений свинца в почвах Москвы и Подмосковья // Почвоведение. 2009. № 8. С. 940–951.

Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Полициклические ароматические углеводороды в городских почвах (Москва, Восточный округ) // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1114–1127.

Никонорова И.В. Геодинамические процессы в береговой зоне Чебоксарского водохранилища и их влияние на хозяйственное освоение // Теория и методы современной геоморфологии: Матер. XXXV Пленума Геоморфологической комиссии РАН. Симферополь: Изд-во КФУ, 2016. Т. 2. С. 404–409.

Оберман Н.Г. Мерзлые породы и криогенные процессы в Восточно-Европейской Субарктике // Почвоведение. 1998. № 5. С. 540–550.

Оберман Н.Г., Лыгин А.М. Прогнозирование деградации многолетне-мерзлых пород на примере Европейского Северо-Востока страны // Разведка и охрана недр. 2009. № 7. С. 15–20.

Обручев В.А. Лёсс как особый вид почвы, его генезис и задачи его изучения // Избранные работы по географии Азии. Т. 3. М.: Географгиз, 1951. С. 290–309.

Овсяченко А.Н., Хилько А.В., Шварев С.В., Костенко К.А., Мараханов А.В., Рогожин Е.А., Новиков С.С., Ларьков А.С. Комплексные геолого-геофизические исследования активных разломов в Сочи — Краснополянском районе // Физика Земли. 2013. № 6. С. 116–138.

Овсяченко А.Н., Меньшиков М.Ю., Рогожин Е.А., Корженков А.М. Циклы сейсмической активности во второй половине голоцена на Западном Кавказе и их связь с этапами цивилизационного развития (на примере верховьев р. Мзымта) // Геофизические процессы и биосфера. 2016. Т. 15. № 2. С. 5–38.

Озерова Н.А., Собисевич А.В. Конференция «Тихвинская водная система: 300 лет идее создания, 200 лет от начала эксплуатации» // Вопросы истории естествознания и техники. 2012. № 2. С. 192–196.

О мелиорации земель сельскохозяйственного назначения Тверской области. 2016–2021 гг. Официальный сайт правительства Тверской области. URL: О мелиорации земель сельскохозяйственного назначения Тверской области (xn--80aaccp4ajwpkqbl4lrb.xn--p1ai).

Онякова А.М. Формирование инженерно-геологических условий города Архангельска // Научный электронный журнал «Меридиан». 2020. № 1 (35). URL: Науч. электронный журнал «Меридиан» (meridian-journal.ru).

Орлёнок В.В., Барина Г.М., Кучерявый П.П., Ульяшев Г.Л. Виштынецкое озеро: природа, история, экология. Калининград: Изд-во КГУ, 2001. 211 с.

Осипов В.И., Мамаев Ю.А., Вадачкоря О.А., Ястребов А.А. Формирование и оценка инженерно-геологических условий территории строительства олимпийских объектов горного кластера в Адлерском районе г. Сочи // Геоэкология. 2011. № 1. С. 3–13.

Основные концепции современного берегопользования: Монография / Денисов В.В. и др.; Под ред. Л.Н. Карлина, В.В. Денисова, М.Б. Шилина. СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. Т. 1. 217 с.

О состоянии окружающей среды Московской области в 2002 году. Государственный доклад / Под ред. Н.В. Гаранькина, Н.Г. Рыбальского, В.В. Снакина. М.: НИА-Природа, 2003. 314 с.

О состоянии и охране окружающей среды Тамбовской области в 2018 году, 2019. URL: О состоянии и использовании земель в Тамбовской области в 2018 году.doc — Яндекс.Документы (yandex.ru).

О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году: Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ им.

М.В. Ломоносова, 2020. 1000 с. URL: Государственные доклады — Министерство природных ресурсов (mnr.gov.ru).

О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова, 2021. 864 с. (С. 298–299). URL: [Госдоклад-2020.pdf \(mnr.gov.ru\)](http://mnr.gov.ru).

Отчет о результатах контрольного мероприятия «Проверка эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения сельскохозяйственными предприятиями и организациями в Московской и Тверской областях». (Счетная палата Российской Федерации). 2006. URL: [b92a0c1017bbe0514cd7f173492ed20f.pdf — Яндекс.Документы \(yandex.ru\)](http://yandex.ru).

Официальный сайт города Норильска. URL: <http://www.norilsk-city.ru/about/1242/index.shtml>.

Охрана ландшафтов. Толковый словарь. / Отв. ред. В.С. Преображенский. М.: Прогресс, 1982. 272 с.

Оценка влияния изменения режима вод суши на наземные экосистемы / Отв. ред. Н.М. Новикова. М.: Наука, 2005. 365 с.

Очерки геоморфологии урбосферы / Отв. ред. Э.А. Лихачёва, Д.А. Тимофеев. М.: Медиа-ПРЕСС, 2009. 352 с.

Павлов А.П. Оползни Симбирского и Саратовского Поволжья. М., 1903.

Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафтов. 3-е изд. М.: Астрель — 2000, 1999. 768 с.

Петрухин Н.А., Потатуева Т.В. Взаимодействие земляного полотна и вечномёрзлых грунтов. Томск: ТомГУ, 1987. 160 с.

Петин А.Н. Рациональное недропользование в железорудной провинции Курской магнитной аномалии (проблемы и пути их решения): Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Белгород: БелГУ, 2009. 46 с.

Петренко В.С. Основные черты техногенеза на побережье Приморья // Тематический вып. ДВНИГМИ. 2003. № 4. С. 175–183.

Петренко В.С. Берега города Владивостока // Записки Общества изучения Амурского края. 2001. Т. XXXV. С. 132–135.

Пижанкова Е.И., Добрынина М.С. Динамика побережья Ляховских островов (результаты дешифрирования аэрокосмических снимков) // Криосфера Земли. 2010. Т. 14. № 4. С. 66–79.

Плечко Л.А. Старинные водные пути. М.: Физкультура и спорт, 1985. URL: <https://skitalets.ru/infomation/books/4777/>.

Попова Л.Ф. Химическое загрязнение урбоэкосистемы Архангельска. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный ун-т им. М.В. Ломоносова, 2014. 231 с.

Преображенский В.С. Проблема исследования взаимодействия общества и природы // Система «общество — природа»: проблемы и перспективы. М.: ВНИИСИ, 1983. С. 11–23.

Пронин А.П. Активные глубинные разломы центральной части Русской платформы и их геоэкологическое значение: Геоэкологические исследо-

вания и охрана недр: Науч.-техн. информ. сб. Вып. 3. М.: ОЗТ «Геоинформмарк», 1994. С. 3–15.

Раицман Е.Я., Гласко М.П. Морфоструктурные узлы — места экстремальных природных явлений. М.: Медиа-ПРЕСС, 2004. 224 с.

Ревич Б.А. «Горячие точки» химического загрязнения окружающей и здоровье населения России. М.: Акрополь: Обществ. палата РФ, 2007. 192 с.

Региональный доклад «О состоянии и использовании земель в Тамбовской области в 2019 г.». URL: Региональный доклад за 2019 год.doc.

Региональный доклад о состоянии и использовании земель в Тульской области в 2010 г. Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Тульской области. URL: Доклад о состоянии и использовании земель в Тульской области в 2010 году (exdat.com).

Региональный доклад о состоянии и использовании земель в Тульской области за 2020 г. Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Тульской области. Тула, 2021. URL: Региональный Доклад 2020_Тульская область.pdf — Яндекс.Документы (yandex.ru)

Резчикова Е.А. Экологические проблемы эксплуатации Угличского водохранилища // Природно-ресурсные, экологические и социально-экономические проблемы окружающей среды в крупных речных бассейнах. М.: Медиа-ПРЕСС, 2005. С. 273–282.

Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.

Рельеф среды жизни человека (экологическая геоморфология) / Отв. ред. Э.А. Лихачёва, Д.А. Тимофеев. М.: Медиа-ПРЕСС, 2002. 640 с.

Ретеюм А.Ю., Дьяконов К.Н., Куницын Л.Ф. Природа, техника, геотехнические системы. М.: Наука, 1978. 147 с.

Резозин И.С. Оползни Ульяновска и опыт борьбы с ними. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 146 с.

Розанов Л.Л. Учение о геотехноморфогенезе: Теория и практика. М.: Изд-во URSS, 2019. 240 с.

Розанов Л.Л. Теоретические основы геотехноморфологии. М.: ИГ АН СССР, 1990. 189 с.

Романова Е.А. Реки, озера, болота // Региональная география России. Калининградская область: Учеб. пособие / Ред. Орлёнок В.В., Федоров Г.М. Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2005. С. 83–88.

Рукин М.Д., Балоян Б.М. Водные артерии планеты. Вода и цивилизация. Saarbrücken: Publishin, 2016. 234 с.

Рябышев М.Г. Охрана водных ресурсов — источник водоснабжения // Охрана водной среды. М.: Моск. рабочий, 1978. С. 21–31.

Саваренский Ф.П. Инженерная геология. М.—Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1937. 443 с.

Савинцев И.А. Инженерно-геологические условия долинных областей криолитозоны ЯНАО: на примере Салехардской и Надымской площадей: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 2012. 28 с.

Сафьянов Г.А. Береговая зона океана в XX веке / Г.А. Сафьянов. М.: Мысль, 1978. 264 с.

Сафьянов Г.А. Геоморфология морских берегов / Г.А. Сафьянов. М.: Изд-во МГУ, 1996. 400 с.

Сафьянов Г.А. Состояние геосистемы береговой зоны океана // Современные глобальные изменения природной среды: В 2 т. М.: Науч. мир, 2006. Т. 2. С. 11–86.

Сен-Марк Ф. Социализация природы. М.: Прогресс, 1977. 440 с.

Сизов О.С., Вольвах А.О., Вишневикий А.В., Соромотин А.В. Литологические и геоморфологические признаки генезиса верхней толщи четвертичных отложений в нижнем течении р. Надым // Проблемы региональной экологии. 2020. № 3. С. 84–97.

Симонов Ю.Г. Региональный геоморфологический анализ. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1972. 128 с.

Симонов Ю.Г. Избранные труды. М.: ООО «РИТМ», 2008. 384 с.

Скачков М.С. Подземная разработка полезных ископаемых Норильского промышленного района / М.С. Скачков. Норильск: Норильский индустр. ин-т, 2005. 77 с.

Снакин В.В. Экология и охрана природы: Словарь-справочник / Под ред. акад. А.Я. Яншина. М.: Academia, 2000. 384 с.

СНиП II-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М.: Минстрой России, ПНИИИС, 1997. 45 с.

СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. М.: Госстрой СССР, 1984. 47 с.

СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М.: Госстрой СССР, 1990. 59 с.

СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. М.: Госстрой СССР, 1982. 46 с.

СНиП 2.01.09-91. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. М.: Госстрой СССР, 1991. 62 с.

СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территории от затопления и подтопления. М.: Госстрой СССР, 1986. 30 с.

СНиП 22-02-2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. М.: Госстрой России, 2004. 47 с.

Снытко В.А., Озерова Н.А., Широкова В.А. Березинская водная система: история создания и эксплуатации // Acta Geographica Silesiana, 21. WNoZ UŚ, Sosnowiec, 2016. S. 85–96.

Соболь И.С., Хохлов Д.Н. Модификация метода Е.Г. Качугина для вариантного компьютерного прогноза перестроения абразионных бере-

гов эксплуатируемых равнинных водохранилищ // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 281–288.

Состояние и охрана окружающей среды в Архангельской области за 2010 год. «Центр природопользования и охраны окружающей среды» / Отв. ред. А.В. Чулков. Архангельск: КИРА, 2011. 256 с.

Сочава В.Б. Избранные труды. Теоретическая и прикладная география. Новосибирск: Наука, 2005. 288 с.

Средняя Волга. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1991. 147 с.

Стрелецкий Д.А., Шикломанов Н.И., Гребенец В.И. Изменение несущей способности мерзлых грунтов в связи с потеплением климата на севере Западной Сибири // Криосфера Земли. 2012. Т. 16. № 1. С. 22–32.

Ступишин А.В., Трофимов А.М., Широков В.М. Географические особенности формирования берегов и ложа Куйбышевского водохранилища. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1981. 184 с.

Суходровский В.Л., Гравис Г.Ф. Мерзлота и рельеф // Проблемы экзогенного рельефообразования. Кн. 1. М., 1976. С. 189–263.

Суходровский В.Л. Экзогенное рельефообразование в криолитозоне. М.: Наука, 1979. 280 с.

Суходровский В.Л., Козлова А.Е. Криогенные процессы и геоэкология Западной Сибири // Геоморфологические процессы и окружающая среда (количественный анализ взаимодействия): (Тез. докл.). Казань: Изд-во КазГУ, 1991. Ч. 1. С. 94–96.

Схема водоснабжения муниципального образования город Салехард на период до 2030 года (актуализация). URL: docs.cntd.ru.

Тактуев Е.М. Инженерно-геологические условия г. Салехарда // Матер. Уральской горнопромышленной декады геология, геофизика и геоэкология (9–18 апреля 2007 г.). С. 30. URL: http://science.ursmu.ru/upload/doc/2013/05/16/geologiya_geofizika_i_geoekologiya_2.pdf.

Терцаги К. Строительная механика грунта на основе его физических свойств. М.: Госстройиздат, 1933. 392 с.

Тимофеев Д.А. Размышления о фундаментальных проблемах геоморфологии: Избранные труды. М.: Медиа-ПРЕСС, 2011. 528 с.

Тимофеев Д.А., Уфимцев Г.Ф., Онухов Ф.С. Терминология общей геоморфологии. М.: Наука, 1977. 200 с.

Тирских С.А., Вашестюк Ю.В., Штельмах С.И., Рященко Т.Г. Комплексные исследования техногенных грунтов строительной площадки в районе г. Норильска (опыт интеграции производственных и научных результатов) // Вестник ИрГТУ. 2014. № 2 (85). С. 80–85.

Трофимов В.Т., Жигалин А.Д., Богословский В.А., Архипова Е.В. Место эколого-геофизических исследований в системе урбоэкологии // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2016. № 6. С. 3–9.

Туристский атлас Республика Беларусь. РУП «Белкартография», 2009.

Федоренко В.С. Горные оползни и обвалы, их прогноз. М.: Изд-во МГУ, 1988. 213 с.

Федотов А.А., Канибер В.В., Храпов П.В. Анализ и прогнозирование изменений температурного режима грунта в районе города Норильска // INTERNATIONAL JOURNAL OF OPEN INFORMATION TECHNOLOGIES. 2020. Т. 8. № 10. С. 51–65.

Ферсман А.Е. Геохимия. Т. 2. Л.: ОНТИ-Химтеорет, 1934. 354 с.

Физическая энциклопедия: В 5 т. / Гл. ред. А.М. Прохоров. М.: Большая российская энциклопедия, 1999. Т. 5.

Философский словарь / Под ред. И.Т. Фролова. М.: Изд-во Политехнического ин-та, 1981. С. 59–60.

Флоренсов Н.А. Очерки структурной геоморфологии. М.: Наука, 1978. 238 с. Большая российская энциклопедия. [Электронный ресурс]. URL: <https://bigenc.ru/physics/text/2016310>.

Хабидов А.Ш., Жиндарев Л.А., Федорова Е.А., Марусин К.В. Береговая зона крупных водохранилищ (ст. 1. Основные черты рельефа) // Геоморфология. 2014. № 1. С. 29–35.

Хренов Н.Н. Выявление закономерностей взаимодействия северных трубопроводов с геологической средой по материалам аэрокосмических съемок: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МГУГиК, 2001. 25 с.

Хренов Н.Н. Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов съемок. М.: Газоил-пресс, 2003. 352 с.

Черногаева Г.М., Зеленов А.С. Сравнение урбанизированных территорий субъектов РФ по степени напряженности экологической ситуации // Изв. РАН. Сер. геогр. 2009. № 4. С. 86–92.

Чеснокова И.В., Локшин Г.П. Техногенные физические поля — свойства антропогенно-геоморфологических систем. М.: Медиа-ПРЕСС, 2016. 192 с.

Чигир В.Г., Григорьева Н.Н., Панфилова Н.Н., Грабецкая Н.А. Принципы количественной устойчивости деятельного слоя // Исслед. устойчивости геосистем Севера. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 65–92.

Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2019 года. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gks.ru/compendium/document/13282?print=1>.

Чупрова И.Л. Оптимизация техногенных ландшафтов Крайнего Севера: Норильский промышленный район, п-ов Таймыр: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Петрозаводск, 2006. 407 с. URL: Экология (dissercat.com).

Цернант А.А. Сооружение земляного полотна в криолитозоне: Дис. ... докт. техн. наук. М.: МИИТ, 1998. 105 с.

Цицерон. Философские трактаты. М.: Наука, 1985. С. 221–223.

Шальей Е.Е., Ким Л.В. Хлоридная коррозия морского бетона // Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального ун-та. 2018. № 2. С. 101–110.

Шальей Е.Е., Леонович С.Н., Ким Л.В. Деградация железобетонных конструкций морских сооружений от совместного воздействия карбонизации и хлоридной агрессии // Строительные материалы. 2019. № 5. С. 67–72.

Шац М.М. Техногенез в современной трансформации мерзлых толщ горных пород // Геоинфо: Независимый электронный журнал. 2017. URL: Техногенез в современной трансформации мерзлых толщ горных пород (geoinfo.ru).

Шац М.М., Сериков С.И., Скачков Ю.Б. Роль техногенеза в современной динамике мерзлых толщ горных пород // Климат и природа. 2017. № 4 (25). С. 3–16.

Шац М.М. Современная динамика многолетнемерзлых пород: основные причины и геомониторинг // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2019. № 2 (158). С. 7–14.

Шац М.М. Современная динамика многолетнемерзлых пород (основные причины и мониторинг) // Геоинфо: Независимый электронный журнал. Использование и охрана природных ресурсов России. 2021. URL: Современная динамика многолетнемерзлых пород (основные причины и мониторинг) (geoinfo.ru).

Шварев С.В. Анализ параметров древнего катастрофического оползня в долине реки Пслух (Западный Кавказ) с использованием данных лазерного сканирования // Геоморфология. 2015. № 4. С. 90–98.

Шварев С.В. Детальное геоморфологическое картографирование в верховьях р. Мзымты. Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт: Матер. Междунар. конф. «ИнтерКарто. ИнтерГИС», Пермь (Россия) — Гент (Бельгия). 2009. Т. 2. С. 462–464.

Шварев С.В. Мониторинг природно-техногенных объектов транспортной инфраструктуры Олимпиады-2014 на основе детальных данных дистанционного зондирования // Геоморфологи. Вып. 7. М.: Медиа-ПРЕСС, 2016. С. 65–75.

Шварев С.В. Инженерно-организованные геоморфологические системы: моделирование, мониторинг и управление // Геоморфологи. Новое поколение / Под ред. М.Е. Кладовщиковой, Э.А. Лихачёвой. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 59–72.

Шварев С.В. Природно-техническая система мостового перехода (структура, динамика, кризис) // Антропогенная геоморфология. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 290–303.

Шварев С.В., Болысов С.И., Неходцев В.А. Современный естественный и антропогенный морфолитогенез на территории Новой Москвы // Геоморфология городских территорий: конструктивные идеи. М.: Медиа-ПРЕСС, 2017. С. 23–46.

Шварев С.В., Харченко С.В., Голосов В.Н., Успенский М.И. Причины и последствия техногенной активизации селей в 2006–2019 гг. на водосборе притока руч. Сулимовский (район пос. Красная Поляна, Западный Кавказ) // Геориск. 2020. Т. 14. № 2. С. 66–76.

Шварев С.В., Харченко С.В., Голосов В.Н., Успенский М.И. Количественная оценка факторов активизации селей в 2006–2019 годах на склоне хребта Аигба (Западный Кавказ // География и природные ресурсы. 2021. Т. 42. № 2. С. 41–50.

Широкова В.А., Снытко В.А., Чеснов В.М., Фролова Н.Л., Низовцев В.А., Дмитрук Н.Г., Широков Р.С. Вышневолоцкая водная система: ретроспектива и современность: Гидролого-экологическая обстановка и ландшафтные изменения в районе водного пути. Экспедиционные исследования: состояние, итоги, перспективы. М.: ООО ИПП «КУНА», 2011. С. 56.

Широкова В.А., Снытко В.А., Низовцев В.А., Фролова Н.Л., Дмитрук Н.Г., Чеснов В.М., Озерова Н.А., Широков Р.С. Тихвинская водная система: ретроспектива и современность: Гидролого-экологическая обстановка и ландшафтные изменения в районе водного пути. М.: ООО «Арколит», 2013. 376 с.

Шлюз «Немново». Августовский канал. URL: <https://yandex.com/collections/card/5bcee7c9bec8f27a19be1f91/>.

Шолто В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А. Складчатость Большого Кавказа. М.: Наука. 1993. 192 с.

Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1988. 277 с.

Эколого-геоморфологический анализ Арктической зоны Российской Федерации / Отв. ред. Э.А. Лихачёва, А.В. Кошкарёв. М.: Медиа-ПРЕСС, 2020. 120 с.

Экологические проблемы верхней Волги. Ярославль: Яросл. гос. техн. ун-т, 2001. 427 с.

Экологический энциклопедический словарь / Ред. В.И. Данилов-Данильян. М.: Изд. дом «Ноосфера», 1999. 930 с.

Янушевич Ю.Д., Островский А.Б. К истории формирования речных долин Южного склона Северо-Западного Кавказа // Геоморфология. 1972. № 4. С. 93–99.

12 точек роста Новой Москвы. [Электронный ресурс]. URL: <https://stroimsk.ru/new-moscow/12-tochek-rosta-novoi-moskvy>.

Afanasiev V.V., Ignatov E.I. Geomorphological aspects of coast protection in high latitudes // Geosystems of transition zones. 2018. № 2. P. 116–124.

Atkinson P.M., Tatnall A.R.L. Introduction neural networks in remote sensing // International Journal of Remote Sensing. 1997. № 18. P. 699–709.

Atkinson J. The mechanics of soils and foundations // CRC Press. 2007. P. 442.
Botch M.S., Kobak K.L., Vinson T.S., Kolchugina T.P. Carbon pools and accumulation in peatlands of the former Soviet Union // Global Biogeochemical Cycles. 1995. V. 9. №. 1. P. 37–46. doi:10.1029/94gb03156.

Bowles J. Foundation Analysis and Design // McGraw-Hill Publishing Company. 1988. P. 1004. ISBN 0-07-006776-7.

Bozorgnia Y., Bertero V.V. Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering // CRC Press. 2004. P. 976. ISBN 978-0-8493-1439-1.

Braja D. Principles of Geotechnical Engineering // Thomson Learning. 2006. P. 686.

Budhu M. Soil Mechanics and Foundations // John Wiley and Sons. 2007. P. 780. ISBN 978-0-471-43117-6.

Christopher A., Reitherman R. Building Configuration & Seismic Design // A Wiley-Interscience Publication, 1982. P. 296. ISBN 0-471-86138-3.

Coduto D.P., Yeung M.R., Kitch W.A. Geotechnical Engineering Principles and Practices // New Jersey: Pearson Higher Education. 2011. P. 814. ISBN 9780132368681.

Coulomb C.A. Essai sur une application des regles des maximis et minimis a quelques problemes de statique relatifs, a la architecture // Mem. Acad. Roy. Div. Sav. 1776. V. 7. P. 343–387.

Critchley W., Siegert K. Rainfall-runoff analysis // A manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production. 1991. 850 pp.

Crutzen P.J., Stoermer E.F. The Anthropocene // Global Change Newsletter. 2000. V. 41. P. 17–18.

Das B.M. Principles of geotechnical engineering // Cengage Learning, Stamford, U.S.A. 2010. 666 pp.

Das B. Principles of Geotechnical Engineering // Thomson Learning. 2006. 589 pp.

Davis M.L., Cornwell D.A. Introduction to environmental engineering (5th ed.). N.Y.: McGraw-Hill. 2013. 1040 pp. ISBN 978-0-07-340114-0.

Day R.W. Geotechnical Earthquake Engineering Handbook // McGraw Hill Professional. 2002. 700 pp. ISBN 0-07-137782-4.

Dean R.G., Dalrymple R.A. Coastal Processes with Engineering Applications // Cambridge University Press. 2004. 475 pp. ISBN 9780521602754.

Dean E.T.R. Offshore Geotechnical Engineering — Principles and Practice // Thomas Telford, Reston, VA, U.S.A. 2010. 520 pp.

Embleton C., Federici P.R., Rodolfi G. (eds.) (1989). Geomorphological Hazards. Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, Vol. 2. P. 5–11.

Fang H.-Y., Daniels J. Introductory Geotechnical Engineering: an environmental perspective // CRC Press. 2005. P.576. ISBN 0-415-30402-4.

Fels E. Anthropogene geomorphologie // Seieta. 1957. V. 92. № 10. P. 225–260.

Financial Management of Earthquake Risk // EERI Publication. May 2000. 107 pp. ISBN 0-943198-21-6.

Finnemore E.J., Franzini J. Fluid Mechanics with Engineering Applications // McGraw-Hill Higher Education. 2001. P. 790.

Finnemore E.J., Franzini J. Fluid Mechanics with Engineering Applications // McGraw-Hill. 2002. 790 pp.

Garrett J. Where and why artificial neural networks are applicable in civil engineering // J. Comput. Civil Eng. 1994. V. 8. P. 129–130.

Genovese I. Definitions of Surveying and Associated Terms // ACSM. 2005. 314 pp. ISBN 0-9765991-0.

Gibbs A.E., Ohman K.A., Richmond B.M. National assessment of shoreline change — A GIS compilation of vector shorelines and associated shoreline change data for the north coast of Alaska U.S. — Canadian border to Icy Cape // U.S. Geological Survey Open-File Report 2015. 1030 pp. URL: <https://dx.doi.org/10.3133/ofr20151030>.

Gilbert G.K. Hydraulic Mining Debris in the Sierra Nevada // US Geological Survey. Professional Paper 105. 1917. 188 pp.

Glen V. Berg. Seismic Design Codes and Procedures // EERI. 1983. P. 119. ISBN 0-943198-25-9.

Heyman J. The Science of Structural Engineering // Imperial College Press. 1999. 108 pp. ISBN 1-86094-189-3.

Hines J.W. Fuzzy and Neural Approaches in engineering // John Wiley and Sons, Inc. N.Y. 1997. 224 pp.

Holdgate M.W. (ed.). World Environment 1972–1982: a Report by the United Nations Environment Programme // Dublin: Tycooly. 1982. 637 pp.

Holtz R., Kovacs W. An Introduction to Geotechnical Engineering // Prentice-Hall, Inc. 1981. 733 pp. ISBN 0-13-484394-0.

Housner G.W., Jennings P.C. Earthquake Design Criteria // EERI. 1982. 140 pp. ISBN 1-888577-52-5.

Hughes S.A. Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering, Advanced series on ocean engineering // World Scientific. 1993. 568 pp. ISBN 9789810215415.

Judson S. Erosion rates near Rome // It. Science. 1968. V. 160. P. 1444–1445.

Kamphuis J.W. Introduction to Coastal Engineering and Management, Advanced series on ocean engineering // World Scientific. 2010. P. 525. ISBN 9789812834843.

Kirwan M.L., Temmerman S., Skeehan E.E., Guntenspergen G.R., Fagherazzi S. Overestimation of marsh vulnerability to sea level rise // Nature Climate Change. 2016. V. 6. P. 253–260.

Kramer Steven L. Geotechnical Earthquake Engineering // Prentice-Hall, Inc. 1996. 671 pp. ISBN 0-13-374943-6.

Kraus N.C. History and Heritage of Coastal Engineering // American Society of Civil Engineers. 1996. 610 pp. ISBN 9780784474143.

Krynine D.P., Judd W.R. Principles of Engineering Geology and Geotechnics: Geology, Soil and Rock Mechanics, and Other Earth Sciences as Used in Civil Engineering // Published by McGraw-Hill Book Company. 1957. 730 pp.

Kuhry P., Oberman N., Mazhitova G., Karstkarel N., Romanovsky V. Permafrost and infrastructure in European Russia // Frozen Ground. The News Bulletin of the International Permafrost Association Number 26, December 2002. P. 49–51.

Lambe T.W., Whitman R.V. Soil Mechanics, Massachusetts Institute of Technology // John Wiley & Sons. 1969. P. 572. ISBN 0-471-51192-7.

Lee S., Evangelista D.G. Landslide susceptibility mapping using artificial neural network Nat // Hazards Earth Syst. Sci. 2006. V. 6. P. 687–695.

Lindeburg M.R., Baradar M. Seismic Design of Building Structures // Professional Publications. 2001. 212 pp. ISBN 1-888577-52-5.

Mały rocznik statystyczny Polski Wrzesień 1939 — czerwiec 1941 // Ministerstwo informacji i dokumentacji, London. P. 160. URL: istmat.info/files/uploads/51383/maly_statystyczny_polski_wrzesien_1939_czerwiec_1941.

Mason O.K., Jordan J.W. Minimal late Holocene sea level rise in the Chukchi Sea: arctic insensitivity to global change? // *Global and Planetary Change*. 2001. V. 32. № 1. P. 13–23.

Mason O.K., Jordan J.W., Lestak L., Manley W.F. Narratives of shoreline erosion and protection at Shishmaref, Alaska: The anecdotal and the analytical // *Pitfalls of Shoreline Stabilization*. Dordrecht: Springer, 2012. P. 73–92.

McGraw-Hill Encyclopedia of Environmental Science and Engineering (3rd ed.). McGraw-Hill, Inc. 1993. 749 pp.

Michel J., Gilbert T., Waldron J., Blocksidge C.T., Schmidt Etkin D., Urban R. Potentially polluting wrecks in marine waters // *Annals of the 2005 International Oil Spill Conference*, Maio. 2005. V. 16. P. 1–84.

Naeim F. (ed.). *Seismic Design Handbook* // VNR. 1989. 450 pp. ISBN 0-442-26922-6.

Najjar R.G., Herrmann M., Alexander R., Boyer E.W., Burdige D.J., Butman D., Zimmerman R.C. Carbon budget of tidal wetlands, estuaries, and shelf waters of Eastern North America // *Global Biogeochemical Cycles*. 2018. V. 32. № 3. P. 389–416.

Newmark N.M., Hall W.J. *Earthquake Spectra and Design* // EERI. 1982. 103 pp. ISBN 0-943198-22-4.

Oberman N.G., Mazhitova G.G. Permafrost dynamics in the northeast of European Russia at the end of the 20th century // *Norsk Geografisk Tidsskrift*. 2010. V. 55. № 4. P. 241–244.

Ouyang X., Lee S.Y. Updated estimates of carbon accumulation rates in coastal marsh sediments // *Biogeosciences*. 2014. V. 11. № 18. P. 5057–5071.

Paola J.D., Schowengerdt R.A. A review and analysis of backpropagation neural networks for classification of remotely sensed multi-spectral imagery // *Int. J. Remote Sens*. 1995. V. 16. P. 3033–3058.

Penck W. *Die morphologische Analyse* // Stuttgart. 1924. 283 pp.

Penning W.H. *Engineering Geology* // London: Bailliere, Tindall, and Cox. 1880. 186 pp.

Prasuhn A.L. *Fundamentals of Hydraulic Engineering* // Holt, Rinehart, and Winston: N.Y. 1987. 509 pp.

Pugh J.C. *Surveying for Field Scientists* // Methuen. 1975. 230 pp. ISBN 0-416-07530-4.

Randolph M., Gourvenec S. *Offshore geotechnical engineering* // Spon Press, N.Y. 2011. 550 pp.

Ray L., Franzini J., Freyberg D. *Water-Resources Engineering*. McGraw-Hill. 4 ed. 1992. 864 pp.

Reitherman R. *Earthquakes and Engineers: An International History* // Reston, VA: ASCE Press. 2012. P. 394–395. ISBN 9780784410714.

Ries H., Watson T.L. *Engineering Geology*. First ed // N-Y. John Wiley and Sons, Inc. 1914. 672 pp.

Roberson J.A., Cassidy J.J., Chaudhry M.H. *Hydraulic Engineering* // John Wiley and Sons. 1998. 668 pp.

Robinson G.D., Spieker A.M. Nature to be Commanded. US Geological Survey Professional Paper 950. 1978. 95 pp.

Saouma V.E. Lecture notes in: Structural Engineering. Analysis and Design // University of Colorado. Boulder. CO 80309-0428. 1999. 661 pp.

Schofield A.N., Thomas T. Disturbed soil properties and geotechnical design. 2005. 142 pp.

Sherlock R.L. Man as a Geological Agent, an Account of His Action on Inanimate Nature // Publ. by H.F., G. Witherby. London. 1922. 372 pp.

Sorensen R. Basic Coastal Engineering // Springer. 2013. 301 pp. ISBN 9781475726657.

Spivak A.C., Sanderman J., Bowen J.L., Canuel E.A., Hopkinson C.S. Global-change controls on soil-carbon accumulation and loss in coastal vegetated ecosystems // Nature Geoscience. 2019. V. 12. № 9. P. 685–692.

Steffen W., Grinevald J., Crutzen P., McNeill J. The Anthropocene: conceptual and historical perspectives // Philosophical Transactions of the Royal Society A. 2011. V. 369. 843 pp. ISSN 1364-503X.

Szabó J. et al. (eds.). Anthropogenic Geomorphology // Springer Science + Business Media B.V. 2010. 298 pp. DOI:10.1007/978-90-481-3058-0.

Taylor C., Van Marcke E. (eds.). Acceptable Risk Processes: Lifeline and Natural Hazards // Reston, VA: ASCE, TCLEE. 2002. 248 pp. ISBN 9780784406236.

Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H.D. Wastewater Engineering (Treatment Disposal Reuse) // Metcalf & Eddy, Inc. (4th ed.). McGraw-Hill Book Company. 2003. 1846 pp. ISBN 0-07-041878-0.

Terzaghi K., Peck R.B., Mesri G. Soil Mechanics in Engineering Practice. 3rd ed. // John Wiley & Sons, Inc. 1996. 549 pp. ISBN 0-471-08658-4.

Terzaghi K. Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage // Publisher Franz Deuticke, Wien. 1925. 399 p.

UNESCO. 2008. Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage will enter into force in January 2009. UNESCO Press Release No. 97–2008. URL: <http://www.ioc-unesco.org>.

Villa J.A., Blanca B. Carbon sequestration in wetlands, from science to practice: An overview of the biogeochemical process, measurement methods, and policy framework // Ecological Engineering. 2018. V. 114. P. 115–128.

Waters C.N., Zalasiewicz J.A., Williams M., Ellis M., Snelling A.M. (eds.). A stratigraphical Basis for the Anthropocene // Geological Society Special Publication. Publ. The Geol. Soc., London. 2014. № 395. 321 pp.

Zalasiewicz J., Williams M., Fortey R.A., Smith A.G., Barry T.L., Coe A.L., Bown P.R., Gale A., Gibbard P.L., Gregory F.J., Hounslow M.W., Kerr A.C., Pearson P., Knox R., Powell J., Waters C., Marshall J., Oates M., Rawson P., Stone P. Stratigraphy of the Anthropocene // Philosophical Transactions of the Royal Society. 2011. V. 369. P. 1036–1055.

Zipparro V.J., Hasen H. (eds.). Davis' Handbook of Applied Hydraulics // McGraw-Hill, 4th ed. 1993. 1044 pp. ISBN 0070730024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аникина Надежда Васильевна, младший научный сотрудник, лаборатория геоморфологии, Институт географии РАН, г. Москва. E-mail: anikina@igras.ru

Афанасьев Виктор Викторович, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией береговых геосистем Института морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск. E-mail: vvasand@mail.ru

Буланов Сергей Анатольевич, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория геоморфологии, Институт географии РАН, г. Москва. E-mail: bulanov@igras.ru

Богданов Николай Александрович, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория геоморфологии, Институт географии РАН, г. Москва.

Виноградова Ольга Леонидовна, кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник Музея Мирового океана, г. Калининград, Россия. E-mail: OLVinogr69@mail.ru

Лихачёва Эмма Александровна, доктор географических наук, главный научный сотрудник, лаборатория геоморфологии, Институт географии РАН, г. Москва. E-mail: lihacheva@igras.ru

Маккавеев Александр Николаевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория геоморфологии, Институт географии РАН, г. Москва. E-mail: makkaveev@igras.ru

Некрасова Лариса Александровна, научный сотрудник, лаборатория геоморфологии, Институт географии РАН, г. Москва. E-mail: nekrasova@igras.ru

Прядилина (Морозова) Александра Владимировна, инженер, Институт водных проблем РАН, г. Москва. E-mail: aleksandra.v.morozova@yandex.ru

Романова Елена Альбертовна, кандидат географических наук, доцент, г. Калининград. E-mail: alberta63@mail.ru

Чеснокова Ирина Васильевна, доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора Института водных проблем РАН, г. Москва. E-mail: ichesn@rambler.ru

Шварев Сергей Валентинович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией геоморфологии Института географии РАН, г. Москва, ведущий научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва. E-mail: shvarev@igras.ru

Широкова Вера Александровна, доктор географических наук, главный научный сотрудник, заведующая Отделом истории наук о Земле, Институт истории естествознания и техники им.С.И. Вавилова РАН, г. Москва. E-mail: shirocova@gmail.com

**АНТРОПОГЕННЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ И ГИПЕРГЕНЕЗ
(«ЛОЖКА ДЕГТЯ В БОЧКЕ МЕДА»)**

Отв. редактор *Э.А. Лихачёва*
Редакторы *С.А. Буланов, С.В. Шварев*

Корректор *Е.К. Егорова*
Компьютерная верстка *Г. Нефедова*

Подписано в печать 25.05.22. Формат 60 × 90/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Ньютон. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 14,0. Тираж 300 экз.

Изготовление оригинал-макета, компьютерная верстка, цветоделение
ООО «Медиа-Пресс». 101000, г. Москва, Покровский б-р, д. 4/17, стр. 5.
Тел.: (495) 624-76-66. E-mail: media-press@mail.ru