

Геохимия в географии (50 лет лаборатории геохимии в ТИГ ДВО РАН)

ШУЛЬКИН В.М., ХРИСТОФОРОВА Н.К., ЧЕРНОВА Е.Н.,
БОЛДЕСКУЛ А.Г., ЛУЦЕНКО Т.Н., ЮРЧЕНКО С.Г.,
МАКАРЕВИЧ Р.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток
Адрес для переписки: shulkin@tigdvo.ru

Аннотация. Изложена история создания и деятельности лаборатории геохимии в ТИГ ДВО РАН. Описаны основные этапы проведения исследований с краткой характеристикой полученных результатов. Работы последних двух десятилетий освещены более подробно. Областью работ лаборатории геохимии неизменно являлись комплексные геохимические исследования процессов миграции и трансформации вещества в ландшафтах и водных экосистемах переходной зоны суши и океана. Были получены фундаментальные данные по геохимии гипергенных процессов с оценкой влияния горнорудного производства на миграцию и концентрацию тяжелых металлов в различных компонентах наземных ландшафтов и водных экосистем. Комплексное изучение водных экосистем Дальнего Востока позволило охарактеризовать влияние ландшафтно-климатических и социально-экономических факторов на химический состав и качество водных ресурсов. Определены и оценены главные факторы, контролирующие сезонную изменчивость химического состава речных и прибрежно-морских вод региона. Обнаруженные закономерности миграции химических соединений, включая загрязняющие вещества, в речных, эстуарных и прибрежно-морских экосистемах могут быть использованы для мониторинга химического загрязнения и оценки общей антропогенной нагрузки на водные экосистемы. Результаты изучения динамики современных ландшафтно-геохимических процессов и водной миграции химических элементов в горных хвойно-широколиственных ландшафтах юга Дальнего Востока России позволили по-новому оценить биогеохимию формирования состава грунтовых вод и поверхностного стока. В заключение приведены данные о квалификационном росте сотрудников, их участии в педагогическом процессе, подготовке кадров высшей квалификации, основных публикациях и вовлеченности в выполнение международных проектов и гранты.

Ключевые слова: Дальний Восток, геохимия гипергенеза, водные экосистемы, следовые металлы, техногенез.

Geochemistry in Geography (50 years of the Laboratory of Geochemistry in PGI FEB RAS)

SHULKIN V.M., KRISTOFOROVA N.K., CHERNOVA E.N.,
BOLDESKUL A.G., LUTSENKO T.N., YURCHENKO S.G.,
MAKAREVICH R.A.

Pacific Geographical Institute Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Vladivostok
Correspondence shulkin@tigdvo.ru

Abstract. The history of the founding and activities of the laboratory of geochemistry in PGI, FEB of RAS, is stated. The main stages of the research with a brief characteristic of the results obtained are described.

The works of the last two decades are illustrated in more detail. The research field of the laboratory of geochemistry has always been multifaceted geochemical studies of the migration and transformation processes of the chemical substances in landscapes and aquatic ecosystems within the transition zone of land and ocean. The fundamental data on the geochemistry of hypergenic processes were obtained with an assessment of the impact of mining industry on the migration and concentration of heavy metals in various components of terrestrial landscapes and aquatic ecosystems. A comprehensive study of the aquatic ecosystems of the Russian Far East made it possible to characterize the influence of landscape-climatic and socio-economic factors on the chemical composition and quality of water resources. The main factors controlling the seasonal variability of the chemical composition of the river and coastal-sea waters of the region have been identified and evaluated. It was shown that patterns of migration of chemical compounds, including pollutants, in river, estuary and coastal-marine ecosystems can be used to monitor the chemical pollution and to assess the overall anthropogenic load on aquatic ecosystems. The results of the study of dynamics of modern landscape and geochemical processes and water migration of chemical elements in the mountain coniferous-deciduous landscapes of the south of the Russian Far East made it possible to reassess the biogeochemistry at the formation of the composition of groundwater and surface runoff. In conclusion, the data on the qualification progress of employees, their participation in the pedagogical process, the participation in the training of highly qualified personnel are given. The list of the major publications and involvement in the implementation of international projects and grants are listed as well

Keywords: landscape geochemistry, water ecosystems, trace metals, anthropogenic press, Far East of Russia.

История создания, люди, традиции

Лаборатория геохимии Тихоокеанского института географии была образована одновременно с организацией института. При создании ТИГ было решено, что лаборатория геохимии в нем должна играть одну из ведущих ролей. Основанием для этого являются универсальные возможности такой науки как геохимия, позволяющие сопоставлять различные компоненты геосистем, используя «единую меру» – концентрацию того или иного химического элемента или соединения. Кроме того, определение потоков элементов между компонентами является базовой характеристикой геосистем как таковых.

Основным направлением работ лаборатории было определено исследование геохимии тяжелых металлов в различных природно-климатических зонах Дальнего Востока России и ряда территорий и акваторий в других регионах мира (острова и прилегающие акватории Вьетнама, Тихого и Индийского океанов и др.) и изучение трансформации их циклов миграции под воздействием природных и техногенных факторов. Таким образом, изначально планировалось комплексное изучение сопряженных ландшафтов суши и прилегающих морских акваторий, объединенных потоками вещества речного стока и аэральным переносом.

Практически с самого начала деятельности лаборатории геохимии также проводились работы по изучению современного состояния ландшафтов основных районов промышленного и сельскохозяйственного освоения Дальнего Востока, разработки методов геохимического и комплексного экологического мониторинга применительно к региональным условиям.

Дальнегорский район на восточном макросклоне Сихотэ-Алиня был выбран в качестве ключевого объекта. В этом районе с начала XX в. производились добыча и переработка свинцово-цинковых полиметаллических руд, включая выплавку свинца, а с середины века было создано горно-химическое предприятие для производства различных боропродуктов с сопутствующим производством серной кислоты. Хозяйственная деятельность сопровождалась масштабным поступлением различных химических соединений в окружающую среду, что делало Дальнегорский район очень удобным объектом для комплексного изучения антропогенного воздействия на геохимические процессы в зоне гипергенеза.

Организатором и руководителем лаборатории геохимии был к.г.-м.н. Ю.П. Баденков, им же курировались работы по морской геохимии, а изучение геохимии ландшафтов суши проводилось под руководством к.г.н. П.В. Елпатьевского. Первоначальный состав лаборатории включал геологов Г.И. Шумова, А. Голикова и опытных химиков-аналитиков Л.М. Толстову и Е.Ф. Вертель, которые обеспечивали методическое руководство для молодых выпускников ДВГУ: Г.А. Власовой, Т.Н. Луценко, Н.Н. Богдановой. В это же время

в составе лаборатории появились В.А. Чудаева, А.Н. Качур, В.С. Аржанова, Р.А. Макаревич и студенты ДВГУ – будущие сотрудники лаборатории – А.В. Власов, О.В. Рудакова, а также к.х.н. Н.К. Христофорова как организатор работ по морской биогеохимии.

До 1975 г. все сотрудники лаборатории работали по единой тематике в основном в пределах Дальнегорского района, затем произошло разделение по направлениям: А.Н. Качур сосредоточился на изучении атмосферных осадков, В.А. Чудаева – на речном стоке, группа П.В. Елпатьевского – на изучении геохимии природно-техногенных ландшафтов, группа Н.К. Христофоровой – на вопросах биоиндикации и биомониторинга загрязнения морских вод. В 1976 г. в группу по изучению морской биогеохимии пришли выпускники ЛГУ В.М. Шулькин и В.Б. Поярков, а в 1978 г. к коллективу химиков аналитиков присоединилась Т.Л. Примак.

Постепенно география исследований расширялась, они проводились уже на всей территории Приморья, и благодаря включению в работу по проекту UNESCO MAB 7 по изучению островных экосистем лаборатория вышла на просторы Мирового океана. Участие в рейсах по изучению биогеохимических процессов на коралловых и вулканических островах Юго-Западной Пацифики и в прибрежных водах Вьетнама были важной, яркой и незабываемой главой работы лаборатории в первые 10–15 лет своего существования. Значительная часть деятельности лаборатории в 1970–1980-е гг. была тесно связана с лабораторно-экспедиционной базой «Смычка», развитие которой и поддержание рабочего состояния обеспечивались ее неизменным начальником А.П. Копцевым.

В последующие годы, особенно в трудные 1990-е, сотрудники, конечно, приходили и уходили, в том числе, к сожалению, безвозвратно, но костяк, основные направления и дружелюбная атмосфера лаборатории остались, к счастью, неизменными. Это касается и научных исследований, и человеческих отношений.

За первые 30 лет существования сотрудниками лаборатории геохимии в сотрудничестве с коллегами из других лабораторий, прежде всего лаборатории биогеоценологии, и научных учреждений г. Москва были получены фундаментальные данные по геохимии гипергенных процессов в условиях влияния горнорудного производства, которые были опубликованы в монографиях В.С. Аржановой, и П.В. Елпатьевского [1–3]. Кроме того, был выполнен большой объем работ по изучению закономерностей формирования химического состава поверхностных вод, результаты опубликованы в монографиях В.А. Чудаевой с соавторами [4, 5]. Важной частью работ лаборатории геохимии было исследование трансформации материала речного стока в устьевых зонах, а также разработка методических и методологических основ биоиндикации и мониторинга загрязнения морских вод тяжелыми металлами, что было отражено в соответствующих монографиях Н.К. Христофоровой [6] и В.М. Шулькина [7].

Направление научных исследований и основные результаты за последние 20 лет

В период 2000–2021 гг. общими задачами, объединяющими все работы лаборатории, оставались характеристика состояния и функционирования типичных наземных и водных экосистем Дальнего Востока на основе современных геохимических данных, а также изучение химического загрязнения среды, прежде всего соединениями следовых металлов, и общей антропогенной трансформации химического состава основных компонентов экосистем.

В рамках этих общих задач в 2000–2009 гг. в лаборатории проводились работы по трем основным направлениям:

1) исследование основных закономерностей геохимии и функционирования ландшафтов юга Дальнего Востока и их трансформации под влиянием естественных и антропогенных факторов, а также исследование структуры, биокруговорота и педогенеза в ландшаф-

тах чернопихтово-широколиственных лесов юга Дальнего Востока России (д.г.н. П.В. Елпатьевский, к.г.н. В.С. Аржанова, к.г.н. А.Г. Болдескул, н.с. Р.А. Макаревич);

2) исследование уровней содержания и динамики химических компонентов в поверхностных и подземных водах Дальнего Востока (д.г.н. В.А. Чудаева, к.г.н. С.Г. Юрченко);

3) изучение закономерностей миграции химических соединений, включая загрязняющие вещества, в речных, эстуарных и прибрежно-морских экосистемах как основы для мониторинга химического загрязнения и оценки общей антропогенной нагрузки на водные экосистемы (к.г.-м.н. В.М. Шулькин, к.б.н. Е.Н. Чернова, д.б.н. Н.К. Христофорова, н.с. Т.Н. Луценко).

Соответственно, основные фундаментальные научные результаты, полученные в 2001–2009 гг., могут быть разделены на три группы.

1). Была дана характеристика геохимических процессов, функционирования и динамики горных геосистем Южного Сихотэ-Алиня по всему высотному диапазону: установлена специфика биокруговорота, гетерогенность и полигенетичность горных почв, регуляторная роль почвенно-биотического блока в ограничении выноса биофильных элементов. При этом была установлена значительная скорость процессов функционирования геосистем при антропогенном влиянии различного типа, например: а) при вырубках темнохвойных лесов за период $n-10n$ лет происходит подкисление почв, интенсивный вынос биофильных элементов и тонкодисперсного материала, развитие эрозии [8–10]; б) за этот же период воздействие горнопромышленного типа техногенеза обуславливает формирование кислых агрессивных техногенных потоков вещества и значительное увеличение кислотности и концентрации халькофильных и литофильных элементов – Cu, Zn, Cd, Pb, As, Al, Fe, Mn в поверхностных водах [11].

На примере Дальнегорского и Кавалеровского районов Приморского края охарактеризовано воздействие горнорудных стоков на ландшафты, показана их роль в трансформации состава речных вод и установлен ряд закономерностей изменения состава поверхностных вод в зависимости от параметров и масштабов техногенной нагрузки и возможностей депонирования рудогенных тяжелых металлов (ТМ) в различных компонентах ландшафта (донные осадки, перифитон, почвы). В частности, было показано, что формирование химического состава техногенных потоков вещества (рудничные и дренажные стоки) связано с процессами окисления сульфидов, накопленных в отходах горнорудного производства, и сернокислотного выветривания рудовмещающих горных пород. Как следствие, в гумидных условиях региона формируются техногенные потоки агрессивных, высокоминерализованных, слабо кислых и кислых сульфатных вод с высоким содержанием железа, алюминия, марганца и халькофильных элементов (Zn, Cd, Cu, Pb, As), которые заметно влияют на состав речных вод. Процессы хемогенного соосаждения халькофильных металлов обуславливают значительное депонирование ТМ в составе донных осадков, обогащенных гидроксидами Fe и Al, но не приводят к полному выведению рудогенных элементов из водной миграции.

Было доказано, что длительность существования и функционирования горнорудных объектов как источников агрессивных сульфатных стоков и рудогенных халькофильных металлов и мышьяка весьма значительна даже после закрытия рудников, поскольку окисление всего объема сульфидов, находящихся в отвалах горных пород и техногенных шламов, может потребовать десятки и сотни лет [3, 11–13] (д.г.н. П.В. Елпатьевский, к.г.н. В.С. Аржанова, к.г.н. А.Н. Качур, к.г.н. А.Г. Болдескул).

2). Были установлены основные закономерности распределения химических элементов в термальных водах Дальнего Востока, включая Камчатку и Курильские острова, и определено их влияние на окружающие природные воды. В частности, показано, как разные типы современной вулканно-гидротермальной деятельности изменяют состав окружающих поверхностных вод, поставляя в них широкий спектр химических элементов. Вариации уровня содержания микроэлементов в минеральных и термальных водах Дальнего Востока зависят от типа вод, их pH, температуры, общего солевого и газового со-

става, характера водовмещающих пород. Эти же характеристики во многом определяют и формы миграции микроэлементов. Установлено, что содержание многих микроэлементов в пресных грунтовых водах юга Дальнего Востока на 1–2 порядка ниже, чем в холодных углекислых водах Приморья и изученных термальных водах на Курильских островах. Было установлено, что подземные воды имеют удовлетворительное качество и соответствуют стандартам для источников питьевого водоснабжения Российской Федерации и Всемирной организации здравоохранения [14–16].

Применение новых высокочувствительных методов анализа (ICP-MS) позволило впервые получить данные по содержанию широкого круга микроэлементов, включая редкоземельные элементы (РЗЭ), в атмосферных, поверхностных и подземных водах региона. В частности, было показано, что концентрация РЗЭ в подземных и поверхностных водах определяется рН, концентрацией и соотношением основных ионов, органических веществ и взвесей. Для вод с низкими величинами рН характерны высокие и заметно варьирующие концентрации многих микроэлементов, в том числе редкоземельных. Работы по характеристике уровней концентрации и распределению РЗЭ в водах Дальнего Востока РФ были пионерными. Кроме того, была дополнена информация о распределении большого круга микроэлементов в реках Приморья, установлены их соотношения в растворенной форме как для сравнительно чистых водотоков, так и в пределах городов (Владивосток, Уссурийск), где наблюдается существенное увеличение содержания почти всех изученных элементов (Sr, Ba, Li, Rb, Cs, Ga, Mo, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ge, As, Sb, Se). Сравнительное изучение других групп микроэлементов в Приморье с реками Восточного Сихотэ-Алиня показало, что в бассейне р. Усури, и прежде всего в бассейне оз. Ханка, наблюдаются сходные концентрации для ряда элементов (Si, Mo, Sb), но для других элементов (Ge, Br, I, Al, Ba, U) содержания выше, что отражает их более высокие уровни в осадочных породах, более широкую распространенность к западу [5, 17–19] (д.г.н. В.А. Чудаева, к.г.н. С.Г. Юрченко).

3). Были определены основные закономерности поведения Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Ni в прибрежно-морских экосистемах, включая характеристику речного стока, процессы в эстуариях, биоассимиляцию фитопланктоном, макрофито- и макрозообентосом, седиментацию, деструкционные процессы на границе дна и ранний диагенез. Исследования проводились в ряде акваторий северо-западной части Японского моря, различающихся по гидрометеорологическим и геоморфологическим параметрам, а также уровню и характеру антропогенной нагрузки. На основании полученных данных предложены оптимальные схемы мониторинга загрязнения металлами прибрежных водных экосистем. Были показаны преимущества и ограничения использования для слежения за загрязнением различных компонентов (воды, взвеси, донных отложений) разных видов бентоса – макрофитов, моллюсков. В ходе исследований применялись как традиционные методы полевых натуральных наблюдений с отбором и последующим анализом проб, так и натурные и лабораторные эксперименты [20–24].

При исследовании факторов, контролирующих концентрацию и потоки загрязняющих веществ в водных экосистемах рек и прибрежно-морских акваторий, основное внимание уделялось анализу сезонной и пространственной изменчивости химического состава речных вод. Показано, что среди главных факторов, контролирующих сезонную изменчивость содержания макроионов, а также биогенных элементов (N, P, Si) и ряда металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Ni) в реках Приморья, выделяются водный режим и связанные с ним вариации минерализации, рН, содержания взвеси и коллоидов. Определены особенности сезонной изменчивости химического состава вод в зависимости от уровня антропогенной нагрузки и ландшафтной структуры водосбора. Показано, что в практически незагрязненных горных малых реках уровень и сезонная изменчивость концентрации растворенных металлов минимальны. В более крупных реках концентрация растворенных металлов определяется минерализацией вод, отражающей соотношение грунтовых вод и атмосферных осадков в питании рек, рН вод и соотношением количества взвеси и коллоидов [25, 26].

Была проведена региональная оценка химического состава речного стока в бассейнах Японского и Желтого морей, в том числе с территориями сопредельных стран. Кроме того, в ходе двух совместных экспедиций с ННЦМБ (ИБМ) ДВО РАН и ТОИ ДВО РАН было изучено распределение растворенных и взвешенных форм металлов в Амурском лимане, а также определены главные контролирующие факторы: объем речного стока и уровень продукции фитопланктона [24, 27].

Комплекс работ по сравнительному изучению концентрации металлов в тканях гидробионтов Японского, Белого, Охотского и Южно-Китайского морей существенно расширил представления о возможности применения этих биоиндикаторов в мониторинге качества среды [23, 28] (д.г.н. В.М. Шулькин, д.б.н. Н.К. Христофорова, к.б.н. Е.Н. Чернова).

В 2010–2020 гг. направления исследований лаборатории геохимии несколько трансформировались. В изучении водных экосистем суши больше внимания уделялось характеристике влияния ландшафтно-климатических и социально-экономических факторов на химический состав компонентов экосистем и качество водных ресурсов Дальнего Востока (д.г.н. В.М. Шулькин, к.г.н. Т.Н. Луценко, к.б.н. Чернова Е.Н., к.г.н. Е.В. Лысенко, к.г.н. С.Г. Юрченко). Для наземных ландшафтов акцент сместился на изучение динамики современных ландшафтно-геохимических процессов и водной миграции химических элементов в горных хвойно-широколиственных ландшафтах юга Дальнего Востока России (к.г.н. А.Г. Болдескул, к.г.н. Т.Н. Луценко, к.г.н. С.Г. Юрченко совместно с коллегами из БПИ (ныне – ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН) и лаборатории гидрологии ТИГ), включая динамику свойств почв техногенных и урбанистических ландшафтов (н.с. Р.А. Макаревич). В области изучения эстуарных и морских экосистем больше внимания уделялось комплексному изучению биогеохимических циклов биогенных веществ и микронутриентов, связанных с сезонным функционированием фитопланктона, а также разработке комплекса биогеохимических индикаторов состояния, включая микроэлементный состав гидробионтов, в том числе рыб, отражающих изменение условий на водосборах, прилегающих акваториях и местах нагула, а также уровень антропогенной нагрузки (д.б.н. Н.К. Христофорова, д.г.н. В.М. Шулькин, к.б.н. Е.Н. Чернова, к.г.н. Е.В. Лысенко). К этому же направлению можно отнести разработку системы экологических индикаторов устойчивого природопользования и развития в прибрежных зонах на Дальнем Востоке России (д.г.н. В.М. Шулькин – совместно с ЦЛД ТИГ).

Особенностью работ за последние 10 лет является значительное увеличение роли совместных исследований как с другими лабораториями ТИГ ДВО РАН (гидрологии и климатологии, экологии и охраны животных, центром ландшафтно-экологических исследований), так и другими научными организациями ДВО РАН (ННЦМБ, ТОИ, ДВГИ, ФНЦ Биоразнообразия, ИВЭП), ДВФУ, ИМ СО РАН. Это сотрудничество позволило существенно расширить как географию районов работ, так и обогатить их содержание.

Основные научные результаты, полученные в лаборатории геохимии за последние 10 лет, могут быть разделены на три группы.

Были охарактеризованы региональные особенности сезонных изменений химического состава рек Дальнего Востока, связанные с муссонностью климата и достаточно длительным периодом ледостава, а также с экстремальными водными режимами (половодьями, паводками, маловодьем). Было показано, что в ледостав происходит рост минерализации, концентрации биогенных элементов, прежде всего восстановленных форм азота, а также растворенных форм Mn за счет внутриводоемных процессов, а также изменения соотношения грунтовых вод и атмосферных осадков в питании рек. Главной особенностью дождевых паводков является рост концентрации и потоков химических элементов, связанных с коллоидными частицами (Fe, Al, REE). Обнаружена значительная межгодовая изменчивость летних максимумов концентрации коллоидных форм микроэлементов в реках региона, обусловленная вариациями водности и содержания взвеси. Определены особенности зависимости химического состава речных вод Приморья от водного режима при различном типе антропогенной нагрузки [29].

Проведен цикл работ по изучению химического состава воды из различных участков сетей водоснабжения г. Владивосток. **Установлено, что низкий уровень минерализации, содержания кальция и магния в питьевой воде отражает природные свойства воды поверхностных источников, питаемых за счет атмосферных осадков.** Несмотря на то что содержание микроэлементов (Cu, Zn, Cd, Ni, Pb) в питьевой воде не превышает ПДК, повышенный уровень их концентрации в пробах воды, отобранных из различных точек распределительной сети, по сравнению с источниками забора свидетельствует о вторичном загрязнении воды в системе водоснабжения [30].

Был проведен сравнительный анализ биогеохимических и геохимических процессов в эстуарных зонах рек Амур и Янцзы. Выявлены основные природно-климатические и антропогенные факторы, контролирующие геохимические особенности стока этих крупнейших рек востока Азии. Показано, что большая мутность, повышенный pH и относительно низкое содержание растворенного органического вещества в р. Янцзы сопровождаются пониженной концентрацией растворенных форм металлов, несмотря на значительную антропогенную нагрузку. При смешении с морскими водами это ведет к доминированию мобилизации и увеличенному поступлению растворенных форм многих металлов в прибрежные воды, что может оказывать влияние на продукционные процессы. Для эстуария р. Амур показано, что влияние вариаций стока сказывается на составе поверхностного слоя эстуарных и прибрежных вод, но нивелируется в пределах Сахалинского залива за счет жизнедеятельности фитопланктона [27, 29].

В ходе совместных работ с сотрудниками ТОИ ДВО РАН изучено влияние сезонных вариаций стока р. Раздольная на его биогеохимическую трансформацию в эстуарной зоне. Показано, что низкий расход обуславливает устойчивую стратификацию вод в верхней части эстуария, которая в этом случае располагается в пределах нижних 20–27 км русла р. Раздольная. В сочетании с высоким уровнем первичной продукции в нижнем течении реки это приводит к формированию зоны гипоксии в придонных водах верхней (речной) части эстуария в дополнение к сезонной гипоксии в придонных водах северной части Амурского залива, ежегодно образующейся во второй половине лета. Гипоксия в придонных водах внутренней части эстуария р. Раздольная сопровождается увеличением концентрации растворенных форм ряда металлов за счет их поступления из осадков и деструкции планктона. Масштаб увеличения концентраций в водах речной части эстуария возрастает в порядке $Mn > Fe > Zn > Ni$. Однако в обедненных кислородом придонных водах мористой части эстуария увеличение растворенных форм наблюдается только для Zn и Ni. Растворенные формы Cu, Cd и Pb не показывают какой-либо реакции на снижение концентрации растворенного кислорода за счет преобладания малорастворимых сульфидных форм [31].

В ходе комплексного изучения биогеохимических процессов в прибрежно-морских акваториях, проводимых совместно с коллегами из ННЦМБ, охарактеризованы особенности сезонных изменений химического состава вод по данным регулярных наблюдений в Амурском заливе Японского моря. Показано, что даже в прибрежных водах, находящихся под прямым влиянием речного стока, важным источником биогенных веществ, а для фосфатов доминирующим является поступление со стороны моря за счет адвекции и апвеллинга. Влияние цветения фитопланктона на концентрацию биогенных веществ в воде наиболее заметно в период ледостава, и особенно во время разрушения ледового покрова в марте, когда за счет деструкции фитопланктона в верхнем слое вод наблюдаются кратковременные, но интенсивные максимумы биогенных веществ, особенно нитратов и силикатов [32].

На примере типичных ландшафтов высотной поясности южного Сихотэ-Алиня исследована химическая природа и миграционное поведение растворенного органического вещества (РОВ) как одного из важных факторов почвообразования. Установлено, что при переходе от ландшафтов низкогорья (500–750 м) к среднегорью (1200–1400 м) в гумусовых горизонтах почв наиболее контрастно изменяется фракционный состав РОВ, при этом

снижается содержание азота в гуминовых компонентах РОВ, отражая снижение скорости трансформации растительных остатков и объема биокруговорота азота. Наибольшая динамика содержания азота характерна для фульвокислот. Полиэлектролитная природа водорастворимых гуминовых веществ подтверждена рК-спектрами, в которых установлено наличие трех категорий карбоксильных и фенольных групп. Для того чтобы поддерживать поступление элементов минерального питания, их биокруговорот и функционирование экосистем, процессы трансформации органического вещества направлены на увеличение кислотной силы компонентов РОВ. Установленные характеристики состава РОВ и тренды их изменения позволяют более полно и обоснованно рассматривать процессы почвообразования в ландшафтах высотной поясности Сихотэ-Алиня [33].

При изучении динамики современных ландшафтно-геохимических процессов и водной миграции химических элементов в горных хвойно-широколиственных ландшафтах юга Дальнего Востока на примере ландшафтов верховья р. Уссури установлено, что процессы формирования химического состава природных вод в горных условиях Приморья идут достаточно интенсивно, и это отражается в яркой смене химических типов вод от атмосферных осадков к русловым водам. Важнейшая роль в трансформации химического состава атмосферных осадков принадлежит лесной растительности. Видовой состав леса, возраст (коренные или вторичные леса), степень антропогенного воздействия (рубки, пожары) являются факторами, контролирующими степень трансформации атмосферных вод, обогащения их биогенными элементами: органическим веществом, нитрат- и сульфат-ионами, ионами калия, кальция, магния. Концентрация химических элементов в водах, прошедших через древесный полог, повышается в 7–30 раз относительно исходных атмосферных осадков [34, 35].

Состав ландшафтных вод подвергается дальнейшей трансформации в почвенно-грунтовой толще: русловые воды в меженные периоды в большей степени наследуют химический тип почвенно-грунтовых вод. Почва является основным источником гидрокарбонат-, сульфат-ионов, ионов кальция, магния, натрия, а также растворимых форм кремния, железа, алюминия, бария [36]. В целом химический тип речных вод достаточно устойчив и не меняется с изменением расходов воды. Установлена связь между водностью и содержанием некоторых компонентов: нитрат-ион и растворенный органический углерод демонстрируют значимую прямую зависимость, а сульфат-ион, ион кальция и кремний связаны с водностью обратной зависимостью [34]. Таким образом, водотоки первого порядка могут значительно отличаться химическим составом, несмотря на близкое расположение, что объясняется изменчивостью ландшафтных факторов, формирующих геохимическую обстановку (рельеф, геология и литология пород, микроклиматические параметры, растительность, почвы).

Получены результаты по долговременному (1977–1997) мониторингу химических свойств сильно эродированных буроземов техногенной пустыни, сформировавшейся в зоне максимального воздействия токсичных газо-пылевых выбросов свинцового плавильного завода, расположенного в п. Рудная Пристань Дальнегорского района Приморского края. В этот период времени завод работал с различной производительностью, и соответственно имела место различная интенсивность воздействия выбросов на примыкающую территорию, что отразилось на характеристиках химических свойств почв [37].

По данным о содержании тяжелых металлов в массовых видах бурых водорослей зал. Петра Великого и открытого побережья западной части Японского моря, отобранных с разной периодичностью в течение последних 30 лет, рассчитаны их пороговые фоновые концентрации (Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd и Ni) в водорослях и морских травах как медианное плюс двойное медианное значение абсолютных отклонений ($Med+2MAO$) [28]. Пороговые величины верифицированы связью между концентрацией металлов в воде и коэффициентами биоаккумуляции [38]. С их помощью были рассчитаны эколого-геохимические коэффициенты для прибрежных вод зал. Петра Великого – коэффициент геохимической аномальности химического состава водорослей и суммарный нормализованный коэф-

фициент опасности загрязнения водорослей металлами. Коэффициенты позволяют дать комплексную оценку загрязнения местообитаний водорослей металлами, что является важным этапом в совершенствовании мониторинга состояния среды прибрежно-морских акваторий [39].

В ходе комплексного изучения озер восточного Сихотэ-Алиня было показано, что состояние компонентов их экосистем соответствует фоновому, за исключением оз. Васьковского, расположенного в зоне влияния свинцово-плавильного завода в пос. Рудная Пристань, закрытого в 2009 г. Показано, что по пищевой цепи планктон–моллюски–фильтраторы в изученных озерах такие металлы как Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd и Ni не накапливаются. Динамика содержания металлов в организмах пищевой цепи планктон–моллюски зависит от формы преобладания металла в воде (растворенная или взвешенная), степени обогащения водоема металлами и органическим веществом [40].

В период 2010–2020 гг. получили развитие исследования д.б.н., проф. Н.К. Христовой, выполненные совместно с двумя докторантами – В.Ю. Цыганковым (ДВФУ) и А.В. Литвиненко (СахГУ) по тихоокеанским лососям. Эти исследования, с одной стороны, продолжали направление биоиндикации (ихтиоиндикации) качества среды, с другой – развили тему изучения биогеохимических провинций – как антропогенных, так и природных, по которым накопилось достаточно знаний, полученных ранее. Но если в предыдущие годы биоиндикаторами служили неподвижные или малоподвижные бентосные организмы, то теперь исследования коснулись активных мигрантов.

Тихоокеанские лососи – важнейшая группа промысловых пелагических объектов, характеризующаяся широким спросом на отечественном и зарубежном рынках. Это рыбы верхней пелагиали, обитающие главным образом в северных частях Тихого и Атлантического океанов, в Северном Ледовитом океане и в бассейнах их рек. Среди тихоокеанских лососей ведущим является род *Oncorhynchus*, включающий горбушу (*O. gorbuscha*), кету (*O. keta*), нерку (*O. nerka*), которые составляют основной вклад в объем вылова лососей на Дальнем Востоке и в России в целом.

Лососи Западной Пацифики и азиатского побережья Евразии существуют в виде множестве стад, принадлежность к которым проявляется в местах зимовок, нагула и нереста. При этом если места зимовок и нерестовые реки четко predeterminedены, то места нагула, где рыбы ведут себя не скучено, а рассеяно, локализованы недостаточно четко. Особой зоной во время нагула, анадромных миграций лососей является Курило-Камчатский регион, который известен как высококормная компактная акватория. Проходя через эту геохимически импактную зону с специфическими геоэкологическими условиями, создаваемыми подводным и надводным вулканизмом и поствулканизмом, а также и апвеллингами, выносящими из глубин Курило-Камчатского желоба биогенные и другие элементы, лососи вместе с пищей (планктоном) аккумулируют в тканях различные химические элементы, существенно обогащая свой минеральный состав. Таким образом, переход через этот регион так же, как и нагул в нем, оставляют свой «след» в микроэлементном составе органов и тканей организмов.

В то же время немалое число стад лососей не выходят на зимовку в океан, а проводят зиму в Японском море, не пересекая во время миграций Курильскую гряду и Курило-Камчатскую впадину. Поэтому изучение минерального состава тканей лососей позволяет более определенно выяснить пути их миграций и возможный регион основного пребывания (нагула). Кроме того, знание уровней содержания микроэлементов в тканях таких важных пищевых объектов, какими являются лососи, необходимо и с санитарно-гигиенических позиций.

Импактная ситуация в прибрежных водах Атлантики и Восточной Пацифики, фиксируемая по таким трассерам, как более высокие концентрации цинка и меди в выращенной в садках семге, вызвана антропогенной деятельностью. Импактные же зоны в водах Западной Пацифики, обнаруженные с помощью изучения микроэлементного состава (более высокой концентрации свинца) диких тихоокеанских лососей – горбуши и кеты, форми-

руются под влиянием природных факторов – современного вулканизма и апвеллингов [41, 42].

За цикл работ в области географии и геоэкологии, выполненных по тихоокеанским лососям, а именно за изучение «Содержания тяжелых металлов в тихоокеанских лососях как отражения геоэкологических условий нагула и анадромной миграции», Н.К. Христофорова с коллегами получила премию ДВО РАН в конкурсе 2021 г. имени академика И.П. Дружинина.

Участие в проектах, включая международные

Научная деятельность сотрудников лаборатории геохимии в последние 20 лет поддерживалась и поддерживается многочисленными грантами различного уровня. Среди наиболее важных можно упомянуть гранты РФФИ (руководитель к.г.н. В.С. Аржанова), посвященные изучению поступления и трансформации техногенного вещества в геосистемах и исследованию структуры, биокруговорота и педогенеза в ландшафтах чернопихтово-широколиственных лесов юга Дальнего Востока России, а также грант ДВО–РФФИ (руководитель д.г.н. В.А. Чудаева), посвященный изучению содержания и форм миграции редкоземельных элементов в поверхностных водах и оценки их трансформации в областях с различной антропогенной нагрузкой, и грант РФФИ «Временная изменчивость химического состава компонентов эстуарных экосистем: контролирующие факторы и влияние на биогеохимические циклы, потоки химических элементов и качество среды» (руководитель д.г.н. В.М. Шулькин). Сотрудники лаборатории (к.г.н. Т.Н. Луценко, к.г.н. А.Г. Болдескул) активно участвовали как исполнители в реализации проектов РФФИ, проводимых под руководством сотрудников лаборатории гидрологии, и коллег из ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, посвященных комплексному изучению формирования поверхностного стока, включая биогеохимические аспекты в бореальных и суббореальных условиях.

Важным направлением деятельности лаборатории геохимии является участие в работе регионального Центра деятельности по мониторингу Программы ЮНЕП/ООН «План действий по защите среды в регионе стран северо-западной части Тихого океана» (POMRAC NOWPAR), базирующегося в ТИГ ДВО РАН (директор Центра к.г.н. А.Н. Качур). Главными задачами Центра изначально являлось создание региональной программы мониторинга, основанной на сотрудничестве между странами – участниками Программы (РФ, КНР, Южная Корея, Япония). Впоследствии Центр сосредоточился на оценке атмосферного переноса, выноса с речным стоком и прямого поступления загрязняющих веществ в морские акватории. Естественным образом акценты сместились на оценку значимости наземных источников загрязнения и на методические и методологические аспекты комплексного управления прибрежных зон и речных бассейнов.

В ходе работ Центра в 2004–2020 гг. составлено 2 региональных обзора, характеризующих особенности мониторинга качества поверхностных вод в странах, окружающих Японское и Желтое моря (РФ, Китай, Корея и Япония), а также оценивающих особенности химического состава речного стока и прямых сбросов в море с точки зрения их влияния на морские акватории (д.г.н. В.М. Шулькин).

При этом впервые удалось оценить общее поступление вещества, включая загрязняющие соединения, в Японское и Желтое моря не только с территории РФ, но и с территории других стран региона (Япония, Корея, КНР). Кроме того, удалось познакомить читателей с реальными данными по химическому составу и уровню загрязнения речных вод сопредельных стран и обозначить шаги к совместной программе мониторинга качества вод и решения существующих экологических проблем [43]. В рамках деятельности POMRAC NOWPAR с помощью квалифицированных отечественных и зарубежных экспертов был проведен анализ существующих и возможных экологических проблем Северо-Западной Пацифики и опубликованы соответствующие обзоры качества морской среды.

Квалификационный рост (Вместо Заключения)

За прошедшие 20 лет сотрудники лаборатории продемонстрировали значительный квалификационный рост. Докторские диссертации успешно защитили В.А. Чудаева (2001 г.) и В.М. Шулькин (2007 г.). Степень кандидата наук получили С.Г. Юрченко (2004 г.), А.Г. Болдескул (2004 г.) и Т.Н. Луценко (2007 г.), Е.В. Лысенко (2019 г.). Химики лаборатории продолжали осваивать новые аналитические методики и приборы.

С организацией в 2009 г. Центра коллективного пользования по ландшафтной диагностике и ГИС-технологий (руководитель д.г.н. В.М. Шулькин) значительно увеличилось поступление нового аналитического оборудования.

Лаборатория геохимии ТИГ ДВО РАН является постоянной базой для подготовки студентов и аспирантов ДВГУ, УПИ и др., о чем свидетельствуют учебные практики студентов и защиты кандидатских диссертаций: А.П. Поддубный, 1998 г. (ДВГУ); И.А. Родникова, 2000 г. (ДВГУ); С.И. Коженкова, 2000 г. (ДВГУ), А.Л. Марченко, 2009 (ТИГ), О.А. Гамаюнова (Тихонова), 2017 (ДВГУ).

В 1999 г. профессором Н.К. Христофоровой был издан учебник «Основы экологии» в издательстве «Дальнаука» [44], который выдержал несколько переизданий – в 2007 (ДВГУ, г. Владивосток), 2013 («Магистр», г. Москва) и электронная версия в 2018 («Магистр», г. Москва). Учебник был высоко оценен Министерством образования и включен в список пяти обязательных книг, рекомендуемых биологам, экологам и медикам для сдачи кандидатского экзамена по экологии. Кроме того, Н.К.Христофорова опубликовала подробную монографию по региональным природным ресурсам и экологическим проблемам ДВ РФ [45]. Сотрудники лаборатории являются членами ряда специализированных советов по защите докторских диссертаций, а Н.К. Христофорова долгое время была председателем диссертационного совета по специальности «Экология», руководителем аспирантуры и докторантуры по этой специальности в ДВФУ. Ею подготовлено 65 кандидатов наук и 13 докторов наук.

На базе лаборатории под руководством Е.Н. Черновой, Н.К. Христофоровой и В.М. Шулькина постоянно выполняются курсовые и выпускные квалификационные работы студентов химиков и экологов. К сожалению, пока это не трансформируется в масштабное обновление коллектива, средний возраст которого, увы, достаточно солиден. Тем не менее и в этом направлении есть надежда на улучшение ситуации. Кроме того, расширение контактов и совместные работы с коллективами лабораторий ТИГ и других научно-образовательных учреждений позволяет отчасти решить проблему недостатка молодежи непосредственно в лаборатории геохимии. Поэтому коллектив лаборатории геохимии достаточно оптимистично смотрит в будущее и надеется еще поработать над решением многочисленных геоэкологических проблем Дальнего Востока России.

Литература

1. Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. Геохимия ландшафтов и техногенез. М.: Наука, 1990. 196 с
2. Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. Геохимия, функционирование и динамика горных геосистем Сихотэ-Алиня (юг Дальнего Востока России). Владивосток: Дальнаука, 2005. 247 с.
3. Елпатьевский П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и техногенно-измененных геосистемах. М.: Наука, 1993. 253 с.
4. Игнатова В.М., Чудаева В.А. Твердый сток рек и осадки шельфа Японского моря. М.: Наука, 1981. 154 с.
5. Чудаева В.А. Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2002. 392 с.
6. Христофорова Н.К. Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами. Л.: Наука, 1989. 192 с.
7. Шулькин В.М. Металлы в экосистемах морских мелководий. Владивосток: Дальнаука, 2004. 275 с.
8. Аржанова В.С. Информационные функции почв в горных геосистемах Сихотэ-Алиня // География и природные ресурсы. 2003. № 1. С. 100–106.

9. Аржанова В.С. Почвы высокогорных геосистем Сихотэ-Алиня и некоторые аспекты их генезиса // Почвоведение. 2003. № 8. С. 901–902.
10. Болдескул А.Г. Формы фосфора в буроземах чернопихтово-широколиственных лесов юга Приморья // Почвоведение. 2002. № 1. С. 78–86.
11. Елпатьевский П.В. Гидрохимические потоки, продуцируемые сульфидизированными техногенными литоаккумуляциями // География и природные ресурсы. 2003. № 2. С. 26–34.
12. Kachur A.N., Arzhanova V.S., Yelpatyevsky P.V., von Braun M.C., von Lindern I.H. Environmental conditions in the Rudnaya River watershed – a compilation of Soviet and post-Soviet era sampling around a lead smelter in the Russian Far East // The Science of The Total Environment. 2003. Vol. 303, N 1–2. P. 171–185.
13. Von Braun M.C., Von Lindern I.H., Khristoforova N.K., Kachur A.H., Elpatyevsky P.V., Elpatyevskaya V.P., Spalinger S.M. Environmental lead contamination in the Rudnaya Pristan-Dalnegorsk mining and smelter district, Russian Far East // Environmental Research. Section A. 2002. Vol. 88. P. 164–173.
14. Чудаев О.В., Чудаева В.А., Брагин И.В. Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27, № 6. С. 73–81.
15. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г. Химический и изотопный состав грунтовых вод некоторых районов Приморья // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27, № 6. С. 57–64.
16. Chudaev O., Chudaeva V., Bragin I. Geochemistry of nitric thermal waters of the Far East Russia // Geochemica et cosmochemica Acta. 2008. Vol.72, N 12S. P. 162.
17. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г. Особенности химического состава атмосферных осадков на юге Дальнего Востока // Водные ресурсы. 2008. Т. 35, № 1. С. 60–71.
18. Chudaev O.V., Chudaeva V.A., Sugimory K., Kuno A., Matsuo M. Geochemistry of resent hydrothermal systems of Mendeleev Volcano, Kuril Islands, Russia // J. of Geochemical Exploration. 2006. Vol. 88, N 1–3. P. 95–100.
19. Chudaeva V.A., Chudaev O.V., Sugimory K., Matsuo M., Kuno A. Trace and rare earth elements in surface waters of Kuril Islands (Russia) // Geochemica et cosmochemica Acta. 2008. Vol.72, N 12S. P. 163.
20. Шулькин В.М., Богданова Н.Н. Поведение Zn, Cd, Pb, Cu при взаимодействии речной взвеси с морской водой // Геохимия. 2004. № 8. С. 874–883.
21. Шулькин В.М., Кавун В.Я., Ткалин А.В., Пресли Б.Дж. Влияние концентрации металлов в донных отложениях на их накопление митилидами *Crenomytilus grayanus* и *Modiolus kurilensis* // Биология моря. 2002. Т. 28, № 1. С. 53–60.
22. Шулькин В.М., Коженкова С.И., Чернова Е.Н., Христофорова Н.К. Металлы в различных компонентах прибрежных морских экосистем Сихотэ-Алинского биосферного района // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2003. № 4. С. 318–327.
23. Kavun V.Ya., Shulkin V.M., Khristoforova N.K. Metal accumulation in mussels of the Kuril Islands, north-west Pacific Ocean // Marine Environmental Research. 2002. Vol. 53, № 3. P. 219–226.
24. Shulkin V.M., Bogdanova N.N. Mobilization of metals from the riverine suspended matter in sea water // Marine Chemistry. 2003. Vol. 83, N 3–4. P. 157–167.
25. Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Киселев В.И. Металлы в речных водах Приморского края // Геохимия. 2007. № 1. С. 79–88.
26. Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Перепелятников Л.В. Пространственно-временная изменчивость химического состава речных вод юга Дальнего Востока РФ // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 4. С. 428–439.
27. Шулькин В.М., Жабин И.А., Абросимова А.А. Влияние стока р.Амур на биогеохимический цикл железа в Охотском море // Океанология. 2014. Т. 54, № 1. С. 44–51.
28. Чернова Е.Н. Определение фоновых концентраций металлов в бурой водоросли *Sargassum pallidum* из северо-западной части Японского моря // Биология моря. 2012. Т. 38, № 3. С. 249–256.
29. Shulkin V.M., Zhang Jing. Trace metals in estuaries in the Russian Far East and China: Case studies from the Amur River and the Changjiang // Science of the Total Environment. 2014. Vol. 499. P. 196–211.
30. Юрченко С.Г. Особенности микроэлементного состава питьевых вод г.Владивосток // Вода: химия и экология. 2015. № 1 (79). С. 17–21.
31. Shulkin V., Tishchenko P., Semkin P., Shvetsova M. Influence of river discharge and phytoplankton on the distribution of nutrients and trace metals in Razdolnaya River estuary, Russia // Estuarine Coastal and Shelf Science. 2018. Vol. 211. P. 166–176.
32. Шулькин В.М., Орлова Т.Ю., Шевченко О.Г., Стоник И.В. Влияние речного стока и продукции фитопланктона на сезонную изменчивость химического состава прибрежных вод Амурского залива Японского моря // Биология моря. 2013. Т. 39, № 3. С. 202–212.
33. Луценко Т.Н., Аржанова В.С., Братская С.Ю. Растворенное органическое вещество лизиметрических вод горно-лесных почв южного Сихотэ-Алиня // Почвоведение. 2014. № 6. С. 705–715.
34. Болдескул А.Г., Шамова В.В., Гарцман Б.И., Кожевникова Н.К. Ионный состав генетических типов вод малого речного бассейна: стационарные исследования в центральном Сихотэ-Алине // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33, № 2. С. 90–101.
35. Кожевникова Н.К., Луценко Т.Н., Болдескул А.Г., Лупаков С.Ю., Шамова В.В. Водная миграция макроэлементов в хвойно-широколиственных лесах Сихотэ-Алиня // Сибирский лесной журнал. 2017. № 3. С. 60–73.

36. Boldeskul A.G., Shamov V.V., Gartsman B.I., Kozhevnikova N.K., Gubareva T.S., Lutsenko T.N. Chemical Composition of Geographical Types of the Small River Basin Waters (Central Sikhote-Alin Mountains, Pacific Asia) // *Water Resources*. 2016. Vol. 43, N 1. P. 145–157.
37. Makarevich R.A. Adaptive monitoring of the technogenically eroded soils acidity in Primorsky Krai (Russia) // *International J. of Applied And Fundamental Research*. 2016. N 5. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.science-sd.com/467-25080 (дата обращения: 03.09.2021).
38. Чернова Е.Н., Шулькин В.М. Концентрация металлов в воде и в водорослях: биоаккумуляционный фактор // *Биология моря*. 2019. Т. 45, № 3. С. 177–187.
39. Чернова Е.Н., Коженкова С.И. Пространственная оценка загрязнения залива Петра Великого, (Японское море) металлами с помощью бурой водоросли *Sargassum miyabei* // *Океанология*. 2020. Т. 60, № 1. С. 49–56.
40. Chernova E.N., Lysenko E.V. The content of metals in organisms of various trophic levels in freshwater and brackish lakes on the coast of the Sea of Japan // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26, N 20. P. 20428–20438.
41. Христофорова Н.К., Литвиненко А.В., Цыганков В.Ю., Ковальчук М.В., Ерофеева Н.И. Микроэлементный состав горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) из Сахалино-Курильского района // *Биология моря*. 2019. Т. 45, № 4. С. 260–266.
42. Христофорова Н.К., Цыганков В.Ю., Боярова М.Д., Лукьянова О.Н. Содержание микроэлементов в тихоокеанских и атлантических лососях // *Океанология*. 2015. Т. 55, № 5. С. 751–758.
43. Шулькин В.М., Качур А.Н., Коженкова С.И. Целевые экологические показатели и индикаторы состояния морей и прибрежных зон Северо-Западной Пацифики // *География и природные ресурсы*. 2017. № 1. С. 62–70.
44. Христофорова Н.К. Основы экологии: учебник. 3-е изд., доп. М.: Магистр, 2013. 640 с.
45. Христофорова Н.К. Дальний Восток России: природные условия, ресурсы, экологические проблемы. М.: Магистр, 2018. 832 с.

References

- Arzhanova, V.S.; Elpatyevsky, P.V. Landscape geochemistry and technogenesis. Nauka: Moscow, Russia, 1990, 196 p. (In Russian)
- Arzhanova, V.S.; Elpatyevsky, P.V. Geochemistry, functioning and dynamics of the mountainous geosystems of the Sikhote-Alin (south of the Russian Far East). Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2005, 247 p. (In Russian)
- Elpatyevsky, P.V. Geochemistry of the migration fluxes in the natural and technogenically impacted geosystems. Nauka: Moscow, Russia, 1993, 253 p. (In Russian)
- Ignatova, V.M.; Chudaeva, V.A. Solid runoff of rivers and bottom sediments of the Japan Sea shelf. Nauka: Moscow, Russia, 1981, 154 p. (In Russian)
- Chudaeva, V.A. Migration of chemical elements in the natural waters of Russian Far East. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2002, 392 p. (In Russian)
- Khristoforova, N.K. Bioindication and biomonitoring of sea water contamination by heavy metals. Nauka: Leningrad, Russia, 1989, 192 p. (In Russian)
- Shulkin, V.M. Metals in the coastal ecosystems. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2004, 275 p. (In Russian)
- Arzhanova, V.S. Information functions of soils in the Sikhote-Alin mountainous systems. *Geography and natural resources*. 2003, 1, 100–106. (In Russian)
- Arzhanova, V.S. Soils of alpine geosystems of the Sikhote Alin ridge and some aspects of their genesis. *Eurasian Soil Science*. 2003, 36(8), 809–817.
- Boldeskul, A.G. The forms of phosphorus compounds in brown soils of fir-broad-leaved forests of the southern Primorye region. *Eurasian Soil Science*. 2002, 35(1), 71–78.
- Elpatyevsky, P.V. Hydrochemical fluxes generated by sulfidized technogenic deposits. *Geography and natural resources*. 2003, 2, 26–34. (In Russian)
- Kachur, A.N.; Arzhanova, V.S.; Yelpatyevsky, P.V.; Von Braun, M.C.; Von Lindern I.H. Environmental conditions in the Rudnaya River watershed – a compilation of Soviet and post-Soviet era sampling around a lead smelter in the Russian Far East. *The Science of The Total Environment*. 2003, 303(1–2), 171–185.
- Von Braun, M.C.; Von Lindern, I.H.; Khristoforova, N.K.; Kachur, A.H.; Elpatyevsky, P.V.; Elpatyevskaya, V.P.; Spalinger, S.M. Environmental lead contamination in the Rudnaya Pristan-Dalnégorsk mining and smelter district, Russian Far East. *Environmental Research. Section A*. 2002, 88, 164–173.
- Chudaev, O.V.; Chudaeva, V.A.; Bragin, I.V. Geochemistry of the thermal waters of Sikhote Alin. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2008, 2(6), 528–534.
- Chudaeva, V.A.; Chudaev, O.V.; Yurchenko S.G. Chemical and isotopic composition of groundwaters of central and southern Primorye. *Russian J. of Pacific Geology*. 2008, 2(6), 512–520.
- Chudaev, O.; Chudaeva, V.; Bragin, I. Geochemistry of nitric thermal waters of the Far East Russia. *Geochemica et cosmochemica Acta*. 2008, 72(12S), 162.
- Chudaeva, V.A.; Chudaev, O.V.; Yurchenko, S.G. Chemical composition of precipitation in the southern part of the Russian Far East. *Water Resources*. 2008, 35(1), 58–70.

18. Chudaev, O.; Chudaeva, V.; Sugimory, K.; Kuno, A.; Matsuo, M. Geochemistry of recent hydrothermal systems of Mendeleev Volcano, Kuril Islands, Russia. *J. of Geochemical Exploration*. 2006, 88(1–3 SPEC. ISS.), 95–100.
19. Chudaeva, V.A.; Chudaev, O.V.; Sugimory, K.; Matsuo, M.; Kuno, A. Trace and rare earth elements in surface waters of Kuril Islands (Russia). *Geochemica et cosmochemica Acta*. 2008, 72(N12S), 163.
20. Shulkin, V.M.; Bogdanova, N.N. Behavior of Zn, Cd, Pb, Cu during the interaction between river suspended matter and seawater. *Geochemistry International*. 2004, 42(81), 764–772.
21. Shulkin, V.M.; Kavun, V.Ya.; Tkalin, A.V.; Presley, B.J. The effect of metal concentration in bottom sediments on the accumulation of metals by the mytilids *Crenomytilus Grayanus* and *Modiolus kurilensis*. *Russian J. of Marine Biology*. 2002, 28(1), 43–51.
22. Shulkin, V.M.; Kozhenkova, S.I.; Chernova, E.N.; Khristoforova, N.K. Metals in the different compounds of the coastal ecosystems of the Sikhote Alin biosphere region. *Geocology*. 2003, 4, 318–327. (In Russian)
23. Kavun, V.Ya.; Shulkin, V.M.; Khristoforova, N.K. Metal accumulation in mussels of the Kuril Islands, north-west Pacific Ocean. *Marine Environmental Research*. 2002, 53(3), 219–226.
24. Shulkin, V.M.; Bogdanova, N.N. Mobilization of metals from the riverine suspended matter in sea water. *Marine Chemistry*. 2003, 83(3–4), 157–167
25. Shulkin, V.M.; Bogdanova, N.N.; Kiselev, V.I. Metals in the river waters of Primorye. *Geochemistry International*. 2007, 45(1), 70–79.
26. Shulkin, V.M.; Bogdanova, N.N.; Perepelyatnikov, L.V. Space-time variations of river water chemistry in southern Far East of Russia. *Water Resources*. 2009, 36(4), 406–417.
27. Shulkin, V.M.; Zhabin, I.A.; Abrosimova, A.A. The influence of Amur R. runoff on the biogeochemical cycle of iron the Sea of Okhotsk. *Oceanology*. 2014, 54(1), 38–45.
28. Chernova, E.N. Determination of the background ranges of trace metals in the brown alga *Sargassum pallidum* from the northwestern Sea of Japan. *Russian J. of Marine Biology*. 2012, 38(3), 267–274.
29. Shulkin, V.M.; Zhang Jing. Trace metals in estuaries in the Russian Far East and China: Case studies from the Amur River and the Changjiang. *Science of the Total Environment*. 2014, 499, 196–211.
30. Yurchenko, S.G. Features of microelement composition of drinking water in Vladivostok. *Water: chemistry and ecology*. 2015, 1, 17–21. (In Russian)
31. Shulkin, V.; Tishchenko, P.; Semkin, P.; Shvetsova, M. Influence of river discharge and phytoplankton on the distribution of nutrients and trace metals in Razdolnaya River estuary, Russia. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 2018, 211, 166–176.
32. Shulkin, V.M.; Orlova, T.Yu.; Shevchenko, O.G.; Stonik, I.V. The effect of river runoff and phytoplankton production on the seasonal variability of the chemical composition of coastal waters of the Amursky Bay, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*. 2013, 39(3), 197–207.
33. Lutsenko, T.N.; Arzhanova, V.S.; Bratskaya, S.Y. Dissolved organic matter in lysimetric water of mountain forest soils in the southern Sikhote Alin. *Eurasian Soil Science*. 2014, 47(6), 581–590.
34. Boldeskul, A.G.; Shamov, V.V.; Gartsman, B.I.; Kozhevnikova, N.K. Main ions in water of different types in a small river basin: case experimental studies in centrak Sikhote-Alin. *Pacific Geology*. 2014, 33(2), 90–101. (In Russian)
35. Kozhevnikova, N.K.; Lutsenko, T.N.; Boldeskul, A.G.; Lupakov, C.Yu.; Shamov, V.V. Water migration of macroelements in coniferous broad-leaved forests of Sikhote-Alin. *Siberian forest journal*. 2017, 3, 60–73. (In Russian)
36. Boldeskul, A.G.; Shamov, V.V.; Gartsman, B.I.; Kozhevnikova, N.K.; Gubareva, T.S.; Lutsenko, T.N. Chemical Composition of Geographical Types of the Small River Basin Waters (Central Sikhote-Alin Mountains, Pacific Asia). *Water Resources*, 2016, 43(1), 145–157.
37. Makarevich, R.A. Adaptive monitoring of the technogenically eroded soils acidity in Primorsky Krai (Russia). *International J. of Applied and Fundamental Research*. 2016, 5. Available online: www.science-sd.com/467-25080 (accessed on 3 September 2021)
38. Chernova, E.N.; Shulkin, V.M. Concentrations of Metals in the Environment and in Algae: The Bioaccumulation Factor. *Russian J. of Marine Biology*. 2019, 45(3), 191–201.
39. Chernova, E. N.; Kozhenkova, S.I. Spatial Assessment of Metal Contamination in Peter the Great Bay, Sea of Japan, Using the Brown Alga *Sargassum miyabei*. *Oceanology*. 2020, 60 (1), 40–46.
40. Chernova, E.N.; Lysenko, E.V. The content of metals in organisms of various trophic levels in freshwater and brackish lakes on the coast of the Sea of Japan. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019, 26 (20), 20428–20438.
41. Khristoforova, N.K.; Litvinenko, A.F.; Tsygankov, V.Yu.; Kovalchuk, M.V.; Erofeeva N.I. The trace element content in the pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) from the Sakhalin-Kuril region. *Russian J. of Marine Biology*. 2019, 45 (3), 221–227.
42. Khristoforova, N.K.; Tsygankov, V.Yu.; Boyarova, M.D.; Lukyanova, O.N. Concentration of trace elements in Pacific and Atlantic salmon. *Oceanology*. 2015, 55 (5), 679–685.
43. Shulkin, V.M.; Kachur, A.N.; Kozhenkova, S.I. Environmental objectives and indicators of the state of marine and coastal zones in the northwest Pacific region. *Geography and Natural resources*. 2017, 38 (1), 52–59.
44. Khristoforova, N.K. The baseline ecology: textbook. 3rd ed. Magister: Moscow, Russia, 2013, 640 p. (In Russian)
45. Khristoforova, N.K. Russian Far East: natural conditions, resources, ecological problems. Magister: Moscow, Russia, 2018, 832 p. (In Russian)