МРНТИ 87.19.81 https://doi.org/10.52081/tst.2026.v03.i15.088

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ГОРИСТОЙ МЕСТНОСТИ

Воробьев А.Е.[1], доктор технических наук
fogel_al@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7324-428X
Воробьев К.А.[2,3], кандидат технических наук
vorobyev-ka@rudn.ru, https://orcid.org/0009-0008-3152-8197
Хаджиев А.А.[1]
khadjiev@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0425-9418

[1]*Грозненский государственный университет имени академика М. Д. Миллионщикова, г.Грозный, Россия*
[2]*Российский университет дружбы народов (РУДН),г. Москва, Россия*
[3]*Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук (ИПКОН РАН), г.Москва, Россия*

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена ростом интенсивности добычи и переработки металлических руд, приводящим к загрязнению рек тяжёлыми металлами на территориях, прилегающих к горнодобывающим предприятиям. Предметом исследования являются методика и информационно-измерительные методы полевых исследований речных экосистем горных территорий, подверженных воздействию горнодобывающей промышленности (на примере рек Актюбинской области – Илек, Большая Хобда и её притоков). Методика сочетает полевые наблюдения, инструментальные измерения и лабораторный анализ. Рассматриваются методы изучения гидродинамики речного потока: измерение расхода и скорости течения (вертушки, фотогидрометрический метод LSPIV, метод «уклон-площадь»), оценка турбулентности и шероховатости русла по формуле Шези. Проанализированы гидрографические особенности русел – изгибы, быстрины, пороги, паводки, наносы и заросли растительности – и их влияние на распределение загрязнителей. Обосновывается выбор репрезентативных постов пробоотбора воды и донных отложений с учётом гидродинамических условий. Основной вывод: программа отбора проб должна быть адаптивной к морфологическим особенностям каждого участка русла, а не шаблонной: на быстринах – интегральные пробы по глубине, на изгибах – раздельный отбор у берегов, в разветвлениях – по рукавам, в зарослях – биологические образцы.

Ключевые слова: речные экосистемы, полевые исследования, методика, гидродинамика, отбор проб, горные реки, тяжёлые металлы.

Введение. В связи с непрерывным и довольно быстрым ростом спроса на различные минеральные ресурсы (в том числе – на цветные металлы: медь, свинец, цинк, алюминий и т.д.), обусловленным продолжающимися экономическими и социальными изменениями, происходящими практически во всем мире, по мере развития горнодобывающей промышленности, интенсивность добычи и переработки металлических руд также значительно возросла, что приводит к всё более острым геоэкологическим проблемам территорий прилегающих к разработкам месторождений полезных ископаемых, степень загрязнения которых зависит от расстояния до источника загрязнения, а также ландшафтных и других условий.

Так, горнодобывающая промышленность производит значительное количество сточных вод, отходов и отходящих газов, которые попадают в прилегающие и отдаленные районы (в том числе, в речные бассейны), увеличивая со временем загрязнение речных вод тяжелыми металлами [1].

В Актюбинской области РК к таким речным объектам (подверженным воздействию горной промышленности) относятся река Илек, берущая свое начало в Мугоджарах, и его притоки (Большая Хобда с её составляющими – Сарыхобда, Карахобда и др.), которые протекают вблизи ряда горнорудных предприятий (карьер и подземный рудник

Юбилейный и другие), длительное время, с 1969 г., их загрязняющие многочисленными отвалами и хвостохранилищами (в результате разработки из недр было изъято свыше 3 млн. м³ горной массы), и оставив после себя огромные выемки (Рис. 1).



Рисунок 1 – Карьер Юбилейный

Малые горные реки, расположенные вблизи горнодобывающих предприятий, подвергаются загрязнению не только в Актюбинской области, но и в других регионах Казахстана. Из-за природной уязвимости такие реки первыми реагируют на антропогенную нагрузку. Поэтому в Восточно-Казахстанской области, где сосредоточены крупные промышленные и горнодобывающие предприятия, оценка качества речных вод остаётся важной задачей [12]. Обследование малых рек бассейна Ульбы в Рудном Алтае, при котором воду отбирали в 85 пунктах, выявило превышение предельно допустимых концентраций кадмия в реках Ульба (до 21 ПДК), Тихая и Филипповка. Повышенное содержание цинка, кадмия и свинца авторы связывают с разработкой месторождений и работой горно-обогатительного комплекса [11]. Похожая картина наблюдается и за пределами региона. В донных отложениях реки Кунас в центральных Андах Перу, испытывающей влияние полиметаллической добычи, кадмия и свинца больше в нижнем створе, а кадмий и мышьяк превышают пороги экологического риска [13]. Систематический анализ данных гидрохимического мониторинга Казгидромета за 2017–2024 гг. по шести малым рекам Восточного Казахстана (Брекса, Тихая, Ульба, Глубочанка, Красноярка и Оба) впервые позволил оценить динамику качества их вод. Он стал научной основой для разработки адаптивных стратегий охраны и устойчивого использования водных ресурсов в условиях климатических и антропогенных изменений [12].

Объектом исследования являются речные экосистемы горных территорий Актюбинской области, подверженные воздействию горнодобывающей промышленности, предметом – методика и информационно-измерительные методы полевых исследований этих экосистем. Цель работы – обосновать методику полевых исследований, обеспечивающую репрезентативный отбор проб воды и донных отложений на горных реках. Для достижения цели поставлены задачи: рассмотреть методы измерения гидродинамических характеристик речного потока; проанализировать влияние гидрографических особенностей русла на распределение загрязнителей; обосновать выбор

постов пробоотбора и перечень полевых измерений. В основу работы положена гипотеза о том, что репрезентативность проб в горной реке определяется не только удалённостью от источника загрязнения, но и гидродинамикой и морфологией конкретного участка русла. Методы исследования включают анализ литературных источников, полевые наблюдения, инструментальные измерения и лабораторный анализ.

Материалы и методы исследования. Обоснование методики исследования. Методика исследования горных рек требует использования комплексного подхода, сочетающего полевые наблюдения, инструментальные измерения и лабораторного анализа. Это обусловлено высокой изменчивостью гидравлических, морфологических и геохимических параметров таких водотоков, а также их неоднородным, зачастую турбулентным течением [2].

В связи с тем, что горная река представляет собой довольно сложную, динамичную систему, то ее каждый гидрографический элемент напрямую влияет на гидродинамику и распределение загрязнителей [3, 4]. Для корректного отбора проб необходимо понимать, как именно эти особенности формируют поток.

Для этого необходимо обеспечить исследование гидродинамики речного потока, имеющее целью количественно описать скоростной режим движения воды, что обеспечивается:

Измерением расхода и скорости. Классический метод – использование вертушек (токовых измерителей) для замера скорости в разных точках сечения. Также применяется фотогидрометрический метод (LSPIV), который бесконтактно фиксирует поверхностные скорости по движению частиц и эффективен на довольно бурных реках. Для оценки максимальных паводков используют метод «уклон-площадь», вычисляющий расход по следам уровня воды.

Для горных рек эффективна иерархическая стратегия замера гидравлического потока: целесообразен непрерывный мониторинг, подразумевающий обеспечение замера два раза в сутки на протяжении семи дней и ежечасный замер в течение 24 часов для изучения суточных колебаний речного потока.

Применение фотогидрометрического метода LSPIV на горных реках требует особого внимания к условиям съёмки и обработки видеозаписей. Анализ результатов международного сравнения видеоизмерений расхода (Video Globe Challenge 2020) показал, что на результат существенно влияют интервал времени между кадрами, расположение узлов расчётной сетки и применяемые фильтры; использование автоматизированных процедур обработки на восьми видеозаписях снизило межквартильный размах ошибок расхода с 17 до 5 %, а среднее смещение – с –9 до 1 % [14]. С учётом этого параметры обработки видео при полевых измерениях необходимо задавать согласованно и фиксировать в протоколе, а результаты LSPIV целесообразно сопоставлять с данными измерений вертушкой. Выбор оператора при съёмке и обработке данных рассматривается в [14] как один из основных источников ошибок бесконтактных методов определения расхода, что подтверждает необходимость стандартизации полевых процедур.

Оценкой сопротивления и турбулентности. Для горных рек важно определять коэффициент шероховатости русла и гидравлическое сопротивление. Расчеты ведутся по формуле Шези (1):

$$V = C\sqrt{(R \cdot i)}, \quad (1)$$

где: V – средняя скорость гидродинамического потока (м/с);

C – коэффициент Шези ($м^{0,5}/с$).

Это интегральная характеристика сил гидравлического сопротивления в речном русле. Чем выше С, тем меньше потери энергии на трение и тем больше скорость вод при тех же уклоне и глубине.

R – гидравлический радиус (м). Он равен отношению площади живого сечения гидродинамического потока (S) к ее периметру (P): R = S / P.
i – гидравлический уклон реки (м/м). По сути, это уклон водной поверхности на участке.

Исследование турбулентности речного потока требует высокочастотных измерений скорости в точке, например, с помощью акустической томографии (FAT).

Коэффициент Шези связан с коэффициентом Манинга n зависимостью $C = R^{1/6}/n$, поэтому оценка шероховатости русла сводится к определению n. Для горных рек n не является постоянной величиной и зависит от особенностей русла, в частности от его уклона [15]. В работе [15] коэффициент Манинга горной реки в Японии определён обратным расчётом: по продольным уровням воды, зафиксированным в паводок, выполнено двумерное моделирование неустановившегося течения, а полученные значения n укладываются в диапазон ранее опубликованных оценок; кроме того, предложено регрессионное уравнение, связывающее n с уклоном и морфометрическими параметрами русла.

Такой подход применим и для исследуемых рек, на которых прямые измерения скоростей в паводок затруднены.

Кроме того, необходимо обеспечить изучение гидрографических особенностей речной системы. В частности, анализ морфологии русла важен для понимания процессов и параметров речной гидродинамики и выбора точек отбора проб.

Объекты исследования речных русел. В русле реки для исследования выделяют:

• Морфодинамику русла, т.к. горные реки часто имеют ступенчато-омутовый характер. Также, для оценки сопротивления речного гидродинамического потока, изучается распределение по руслу различных донных отложений.

• Перекаты и пороги, представляющие мелководные участки, где речной гидродинамический поток ускоряется и возникают сложные турбулентные зоны, вихри и зоны замедления. Их изучение включает в себя обеспечения картирования таких участков и измерение глубин.

• Зоны турбулентности, возникающие вследствие неравномерности течения вод, которые обычно связаны с крупными валунами и значительными перепадами гидравлических уклонов. Для их картирования применяют те же методы, что и для оценки турбулентности.

Выбор постов для отбора проб. Данные гидродинамики (гидравлический расход, турбулентность и др.) напрямую влияют на интерпретацию гидрографических особенностей рек (перекаты, зоны смешения и т.д.), которые, в свою очередь, обуславливают выбор репрезентативных створов для отбора проб.

Такой комплексный подход позволяет получить достоверные данные о состоянии и функционировании речных экосистем.

На основе четкого понимания влияния указанных речных элементов на распределение загрязнителей определяют места пробоотбора речных вод на местности, выбор которых был обусловлен близостью к источникам загрязнения рек, впадения ручьев, сменой аквальных геохимических обстановок и т.д. Выбор таких постов должен обеспечивать репрезентативность отбираемых проб и учитывать имеющуюся гидродинамику.

Результаты и обсуждение. Изгибы русел и вторичные течения. На поворотах реки центробежная сила заставляет воду у внешнего берега двигаться быстрее, а у внутреннего – медленнее. Это создает поперечную циркуляцию: у поверхности вода движется к внешнему берегу, а у дна – обратно к внутреннему. В результате внешний берег активно размывается, а у внутреннего формируется побочень – отмель из наносов. Врезанные (реликтовые) излучины в горах часто ограничены коренными породами и создают сложные подпорные эффекты. Поэтому на изгибах пробы отбирают на стрежне (у внешнего берега) и в зоне аккумуляции (у внутреннего), чтобы оценить перераспределение взвесей.

Быстрины (стремнины) и пороги. Это узкие участки с хаотичным течением, резким уклоном и значительной глубиной. Они возникают при выходе твердых пород или сужении русла. Вода, разбиваясь о валуны, создает зоны ускорения над препятствиями и турбулентные зоны замедления с боковыми вихрями. Поток может переходить в критическое и даже сверхкритическое состояние, формируя стоячие волны. На быстринах отбор проб в поверхностном слое бессмыслен из-за интенсивного перемешивания – здесь нужны интегральные пробы по глубине.

Половодья (паводки) и пойма. В горах пик половодья приходится на лето из-за таяния снегов и ледников. Резкие ливни вызывают катастрофические паводки. Вода выходит на узкую пойму, резко снижая скорость и вызывая аккумуляцию наносов. Исследование паводочных потоков на поймах требует специальных методов, а отбор проб в это время критичен для оценки максимального поступления загрязнений.

Наносы и русловые отложения. Грубый аллювий (валуны, галька) горных рек отражает гидравлические условия. В прямолинейных руслах наносы часто образуют поперечные гряды (перекаты) с самой крупной фракцией на гребне. Движение наносов определяется диаграммой Хьюлстрема: крупные горные образования (валуны и галька) двигаются в основном в паводки. Отбор проб влекомых наносов на каменистом дне крайне затруднен, поэтому используют специальные батометры или фотографический метод.

Разделение и соединение русел (а также впадение ручьев). Русло может разделяться на рукава, образуя разветвленные русла. Это происходит, когда мощность потока превышает возможности одного русла. Выделяют однорукавные и многорукавные русла (с равнозначными протоками или с четким главным руслом). В местах слияния рукавов возникает сложная турбулентность. Здесь критически важно отбирать пробы в каждом рукаве отдельно, так как их гидрохимия может сильно различаться.

Заросли водной растительности. В горных реках растительность приурочена к затопленным прибрежным участкам с замедленным течением. Она служит субстратом для перифитона (обрастаний).

Отбор проб с растительности требует соскобов, а сами заросли влияют на гидродинамику, создавая дополнительные сопротивления. Пробы здесь берут для оценки биологического состояния экосистемы.

Целесообразно отбирать пробы в следующих участках реки:

• Зонах полного перемешивания вод. Пробы берутся там, где вода полностью перемешалась. Расстояние до такого места пропорционально скорости течения и квадрату ширины реки.

• В местах поперечного сечения речного потока (в створе). При этом необходимо отбирать пробы вод в нескольких точках по ширине реки (например, на стрежне, у берегов и т.д.) и на глубине 0,2-0,5 м от речной поверхности.

Отбор проб воды и донных осадков. Пробы воды отбирают в соответствии с требованиями в отдельные пластиковые емкости, объемом 1 л, с глубины 5-15 см и консервируют концентрированной азотной кислотой до определенного pH = 2, для последующего лабораторного определения микроэлементов [5, 6]. При определении растворённых форм металлов пробы предварительно фильтруют через мембранный фильтр: условно «растворённой» называют фракцию, проходящую через такой фильтр, хотя она включает и коллоидные формы [7].

Пробы донных отложений отбирают также в в соответствии с ГОСТ. Места отбора выбирают с учётом русловых процессов, от которых зависит накопление металлов в донных отложениях [8].

Определение водородного показателя проб воды осуществляют непосредственно в реке с помощью ионометра pH-МЕТР pH-150МИ [1]. Для определения удельной электропроводности, а также значения минерализации речных вод (в пересчете на хлорид натрия, хлорид калия и гидроксид натрия) использовали кондуктометр «Эксперт-002».

Температура речных вод определялась стандартными методами, с помощью цифрового термометра. Температуру, pH и электропроводность целесообразно измерять непосредственно на месте портативными приборами, учитывая их достоинства и ограничения [9].

Частота отбора проб воды и замеров параметров зависит от изменчивости параметров речного потока, поскольку в паводок содержание взвешенных частиц и связанных с ними загрязнителей растёт с увеличением расхода, особенно на начальной стадии паводка [10].

Практика изучения малых горных рек показывает, что пробы нужно отбирать с учётом пространственных различий. В бассейне Ульбы воду брали вдоль русел через каждые 2 км, а также выше и ниже мест сброса сточных вод. Пробы отбирали на глубине 15 см, фильтровали через фильтр 0,45 мкм и консервировали азотной кислотой (3 мл концентрированной HNO3 на 1 л), причём фильтрацию и консервацию проводили прямо на месте.

Содержание элементов определяли масс-спектрометрией [11]. Такая схема согласуется с принятой в нашей работе (глубина отбора 5-15 см, консервация азотной кислотой). Максимальные значения индекса загрязнения тяжёлыми металлами (HPI) отмечены вблизи промышленных площадок, шахт и сбросов сточных вод, но загрязнение прослеживалось и ниже по течению. По среднему HPI реки выстраиваются в ряд: Ульба (264), Тихая (220), Филипповка (59) [11].

Содержание цинка во всех обследованных реках бассейна Ульбы превышало среднемировой уровень для речных вод в 4-308 раз [11]. Достоверность данных в этом исследовании обеспечивалась тройной повторностью измерений, проверкой по контрольному раствору через каждые 10 проб и работой аккредитованной лаборатории [11]. На реке Кунас шесть створов расположили вдоль её продольного профиля, чтобы оценить пространственное распределение экологических и канцерогенных рисков.

Для донных отложений выявлено превышение допустимых значений индекса опасности и потенциального канцерогенного риска по мышьяку и свинцу. Основными путями воздействия названы непосредственный контакт с отложениями и потребление гидробионтов, поэтому авторы рекомендуют вести непрерывный мониторинг [13]. Отсюда следует, что наряду с водой необходимо отбирать и донные отложения.

Выбор гидрологической фазы для пробоотбора зависит от решаемой задачи. В бассейне Ульбы пробы отбирали в период летней межени, поскольку в весеннее и осеннее половодье загрязнители значительно разбавляются и смываются с водосборов [11]. Для оценки максимального поступления загрязнений в горных реках, как показано выше, необходим также отбор проб в паводок, а для интерпретации результатов – данные гидродинамики.

Поэтому программа полевых исследований на реках Илек и Большая Хобда должна сочетать отбор проб в межень и паводок с измерением расхода, скорости течения и шероховатости русла, а посты пробоотбора следует располагать выше и ниже источников загрязнения, в зонах смешения и на характерных элементах русла. Данные многолетнего гидрохимического мониторинга малых рек региона, обобщённые в [12], могут служить основой для сравнения с результатами полевых измерений.

Заключение. Каждый элемент горного рельефа формирует своеобразные условия речного русла. Программа отбора проб воды и донных осадков должна быть адаптивной, а не шаблонной: на быстринах – интегральные пробы, на изгибах – раздельный отбор у берегов, в разветвлениях – по рукавам, а в зарослях – биологические образцы. Только такой подход обеспечит репрезентативность получаемых данных.

Анализ современных публикаций подтверждает, что надёжность оценки загрязнения горных рек определяется как корректностью измерения гидродинамических параметров (расхода, скорости течения, шероховатости русла) [14, 15], так и обоснованным размещением постов пробоотбора относительно источников загрязнения

[11, 13]. Предложенные подходы могут быть положены в основу программы мониторинга рек Актюбинской области. Дальнейшие исследования предполагают проведение полевых измерений на реках Илек и Большая Хобда и сопоставление данных гидродинамики с содержанием тяжёлых металлов в воде и донных отложениях.

Таким образом, методика полевых исследований горных рек должна быть комплексной и адаптивной. Измерения расхода и скорости течения следует выполнять несколькими методами (вертушки, LSPIV, «уклон-площадь») с контролем качества обработки данных; шероховатость русла целесообразно определять с учётом его морфологии и уклона; посты пробоотбора необходимо выбирать с учётом гидрографических особенностей участка – изгибов, быстрин, порогов, разветвлений, зон смешения и зарослей растительности, – а также расположения источников загрязнения.

Реализация такого подхода позволит получить сопоставимые и достоверные данные о состоянии речных экосистем, подверженных воздействию горнодобывающей промышленности.

Әдебиеттер:

[1] **Бегдай, И.В.,** Мишвелов Е.Г., Харин К.В., Шкарет К.Ю. Эколого-геохимическая оценка состояния реки Уруп в зоне действия Урупского ГОК // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление.– 2025.– № 4.– С. 94-110. URL: https://doi.org/10.35567/1999-4508-2025-4-94-110

[2] **Ciszewski, D.,** Grygar T.M. A review of flood-related storage and remobilization of heavy metal pollutants in river systems // Water, Air, & Soil Pollution.– 2016. –Vol. 227.– No. 7. Art. 239. URL: https://doi.org/10.1007/s11270-016-2934-8

[3] **Ladd, S.C.,** Marcus W.A., Cherry S. Differences in trace metal concentrations among fluvial morphologic units and implications for sampling // Environmental Geology. –1998. –Vol. 36.– P. 259-270. URL: https://doi.org/10.1007/s002540050341

[4] **Курашева, О.А.** Распределение тяжелых металлов в р. Баксан от истоков до выхода в предгорную зону // Вестник Владикавказского научного центра.– 2024.– Т. 24.– № 2.– С. 84-87. URL: https://doi.org/10.46698/VNC.2024.83.38.001

[5] **Сытников, Д.М.,** Кучерик Г.В. Гидрохимический анализ и экотоксикологическая оценка качества вод реки Качи // Мелиорация и гидротехника. –2024.– Т. 14. – № 1.– С. 136-154. URL: https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-136-154

[6] **Batley G.E.,** Gardner D. Sampling and storage of natural waters for trace metal analysis // Water Research. – 1977. – Vol. 11. – No. 9. – P. 745-756. URL: https://doi.org/10.1016/0043-1354(77)90042-2

[7] **Gueguen, C.,** Dominik J. Partitioning of heavy metals into particulate, colloidal and truly dissolved fractions in a polluted river: the Upper Vistula River, Poland // Applied Geochemistry. –2003. – Vol. 18.– P. 457-470. URL: https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00090-2

[8] **Ciszewski, D.,** Channel processes as a factor controlling accumulation of heavy metals in river bottom sediments: consequences for pollution monitoring (Upper Silesia, Poland) // Environmental Geology.– 1998. –Vol. 36.– P. 45-54. URL: https://doi.org/10.1007/s002540050319

[9] **Gałuszka, A.,** Migaszewski Z., Namieśnik J. Moving your laboratories to the field – advantages and limitations of the use of field portable instruments in environmental sample analysis // Environmental Research. – 2015. – Vol. 140. – P. 593-603. URL: https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.05.017

[10] **Coynel, A.,** Schäfer J., Blanc G., Bossy C. Scenario of particulate trace metal and metalloid transport during a major flood event inferred from transient geochemical signals // Applied Geochemistry. –2007. –Vol. 22. – P. 821-836. URL: https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.10.004

[11] **Dyussembayeva, M.,** Tashekova A., Shakenov Y., Kolbin V., Nurgaisinova N., Mamyrbayeva A., Abisheva M. Distribution characteristics and assessment of the content of heavy metals in small rivers of the Ulba river basin in the mining regions of East Kazakhstan // RSC Advances. – 2025. Vol. 15.– No. 14.– P. 11034-11044. URL: https://doi.org/10.1039/d5ra00801h

[12] **Seraya, N.,** Daumova G., Petrova O., Garcia-Mira R., Polyakova A. Ecological status of the small rivers of the East Kazakhstan region // Sustainability.– 2025.– Vol. 17. – No. 14. Art. 6525. URL: https://doi.org/10.3390/su17146525

[13] **Custodio, M.,** Pizarro S., Huarcaya J., Ortega K., Ccopi D. Ecological and human health risk assessment of heavy metals in mining-affected river sediments in the Peruvian Central Highlands // Toxics.– 2025.– Vol. 13.– No. 9. Art. 783. URL: https://doi.org/10.3390/toxics13090783

[14] **Bodart, G.,** Le Coz J., Jodeau M., Hauet A. Quantifying and reducing the operator effect in LSPIV discharge measurements // Water Resources Research. – 2024. – Vol. 60. – No. 2. Art. e2023WR034740. URL: https://doi.org/10.1029/2023WR034740

[15] **Takata, H.,** Obata S., Sato T., Shimatani Y. Back-calculation of Manning's roughness coefficient by 2D flow simulation and influence of in-channel physical parameters in a mountain river, Japan // Water. –2024.– Vol. 16. – No. 2. Art. 320. URL: https://doi.org/10.3390/w16020320

References:

[1] **Begdaj, I.V.,** Mishvelov E.G., Harin K.V., Shkaret K.Ju. Jekologo-geohimicheskaja ocenka sostojanija reki Urup v zone dejstvija Urupskogo GOK // Vodnoe hozjajstvo Rossii: problemy, tehnologii, upravlenie.– 2025.– № 4.– S. 94-110. URL: https://doi.org/10.35567/1999-4508-2025-4-94-110 [in Russian]

[2] **Ciszewski, D.,** Grygar T.M. A review of flood-related storage and remobilization of heavy metal pollutants in river systems // Water, Air, & Soil Pollution. 2016. Vol. 227, No. 7. Art. 239. URL: https://doi.org/10.1007/s11270-016-2934-8

[3] **Ladd, S.C.,** Marcus W.A., Cherry S. Differences in trace metal concentrations among fluvial morphologic units and implications for sampling // Environmental Geology. 1998. Vol. 36. P. 259–270. URL: https://doi.org/10.1007/s002540050341

[4] **Kurasheva, O.A.** Raspredelenie tjazhelyh metallov v r. Baksan ot istokov do vyhoda v predgornuju zonu // Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra.– 2024.– T. 24.– № 2.– S. 84-87. URL: https://doi.org/10.46698/VNC.2024.83.38.001 [in Russian]

[5] **Sytnikov, D.M.,** Kucherik G.V. Gidrohimicheskij analiz i jekotoksikologicheskaja ocenka kachestva vod reki Kachi // Melioracija i gidrotehnika. –2024.– T. 14. – № 1.– S. 136-154. URL: https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-136-154 [in Russian]

[6] **Batley, G.E.,** Gardner D. Sampling and storage of natural waters for trace metal analysis // Water Research. 1977. Vol. 11, No. 9. P. 745–756. URL: https://doi.org/10.1016/0043-1354(77)90042-2

[7] **Gueguen, C.,** Dominik J. Partitioning of heavy metals into particulate, colloidal and truly dissolved fractions in a polluted river: the Upper Vistula River, Poland // Applied Geochemistry. 2003. Vol. 18. P. 457–470. URL: https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00090-2

[8] **Ciszewski, D.** Channel processes as a factor controlling accumulation of heavy metals in river bottom sediments: consequences for pollution monitoring (Upper Silesia, Poland) // Environmental Geology. 1998. Vol. 36. P. 45–54. URL: https://doi.org/10.1007/s002540050319

[9] **Gałuszka, A.,** Migaszewski Z., Namieśnik J. Moving your laboratories to the field – advantages and limitations of the use of field portable instruments in environmental sample analysis // Environmental Research. 2015. Vol. 140. P. 593–603. URL: https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.05.017

[10] **Coynel, A.,** Schäfer J., Blanc G., Bossy C. Scenario of particulate trace metal and metalloid transport during a major flood event inferred from transient geochemical signals // Applied Geochemistry. 2007. Vol. 22. P. 821–836. URL: https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.10.004

[11] **Dyussembayeva, M.,** Tashekova A., Shakenov Y., Kolbin V., Nurgaisinova N., Mamyrbayeva A., Abisheva M. Distribution characteristics and assessment of the content of heavy metals in small rivers of the Ulba river basin in the mining regions of East Kazakhstan // RSC Advances. 2025. Vol. 15, No. 14. P. 11034–11044. URL: https://doi.org/10.1039/d5ra00801h

[12] **Seraya, N.,** Daumova G., Petrova O., Garcia-Mira R., Polyakova A. Ecological status of the small rivers of the East Kazakhstan region // Sustainability. 2025. Vol. 17, No. 14. Art. 6525. URL: https://doi.org/10.3390/su17146525

[13] **Custodio, M.,** Pizarro S., Huarcaya J., Ortega K., Ccopi D. Ecological and human health risk assessment of heavy metals in mining-affected river sediments in the Peruvian Central Highlands // Toxics. 2025. Vol. 13, No. 9. Art. 783. URL: https://doi.org/10.3390/toxics13090783

[14] **Bodart, G.,** Le Coz J., Jodeau M., Hauet A. Quantifying and reducing the operator effect in LSPIV discharge measurements // Water Resources Research. 2024. Vol. 60, No. 2. Art. e2023WR034740. URL: https://doi.org/10.1029/2023WR034740

[15] **Takata, H.,** Obata S., Sato T., Shimatani Y. Back-calculation of Manning's roughness coefficient by 2D flow simulation and influence of in-channel physical parameters in a mountain river, Japan // Water. 2024. Vol. 16, No. 2. Art. 320. URL: https://doi.org/10.3390/w16020320

ТАУЛЫ АЙМАҚТАҒЫ ӨЗЕН ЭКОЖҮЙЕЛЕРІН ДАЛАЛЫҚ ЗЕРТТЕУДІҢ ӘДІСТЕМЕСІ МЕН АҚПАРАТТЫҚ-ӨЛШЕУ ӘДІСТЕРІН НЕГІЗДЕУ

Воробьев А.Е. [1] техника ғылымдарының докторы
Воробьев К.А. [2,3] техника ғылымдарының кандидаты
Хаджиев А.А.[1]

[1]*Миллионщиков атындағы Грозный мемлекеттік университеті, Грозный қ., Ресей*
[2]*Ресей халықтар достығы университеті (РУДН), Мәскеу қ., Ресей*
[3]*Ресей ғылым академиясының Пайдалы қазбаларды кешенді игеру мәселелері институты (ИПКОН РҒА), Мәскеу қ., Ресей*

Андатпа. Зерттеудің өзектілігі металл кендерін өндіру мен өңдеу қарқынының артуымен байланысты, бұл тау-кен кәсіпорындарына іргелес аумақтардағы өзендердің ауыр металдармен ластануына әкеледі. Зерттеу нысаны – тау-кен өнеркәсібінің әсеріне ұшыраған таулы аймақтардың өзен экожүйелерін далалық зерттеудің әдістемесі мен ақпараттық-өлшеу әдістері (Ақтөбе облысының өзендері – Елек, Үлкен Қобда және оның салалары мысалында). Әдістеме далалық бақылауларды, аспаптық өлшеулерді және зертханалық талдауды біріктіреді. Өзен ағынының гидродинамикасын зерттеу әдістері қарастырылады: шығын мен ағыс жылдамдығын өлшеу (гидрометрлік тәрелкелер, LSPIV фотогидрометриялық әдісі, «еңіс-аудан» әдісі), Шези формуласы бойынша арнаның турбуленттілігі мен кедір-бұдырлығын бағалау. Арнаның гидрографиялық ерекшеліктері – иірімдер, жылдам ағыстар, тас жыралар, тасқындар, шөгінділер мен өсімдік бұталары – және олардың ластаушы заттардың таралуына әсері талданды. Гидродинамикалық жағдайларды ескере отырып, су мен түпкі шөгінділерден үлгі алудың репрезентативті орындарын таңдау негізделеді. Негізгі қорытынды: үлгі алу бағдарламасы қалыпты үлгі бойынша емес, әрбір арна учаскесінің морфологиялық ерекшеліктеріне бейімделген болуы тиіс: жылдам ағыстарда – тереңдік бойынша интегралды үлгілер, иірімдерде – жағалаулар бойынша бөлек үлгі алу, тармақталған жерлерде – әр тармақтан, өсімдік бұталарында – биологиялық үлгілер.

Тірек сөздер: өзен экожүйелері, далалық зерттеулер, әдістеме, гидродинамика, үлгі алу, таулы өзендер, ауыр металдар.

SUBSTANTIATION OF THE METHODOLOGY AND INFORMATION-MEASURING METHODS FOR FIELD STUDIES OF RIVER ECOSYSTEMS IN MOUNTAINOUS TERRAIN

Vorobyev A. E.[1] Doctor of Technical Sciences
Vorobyev K. A.[2,3] Candidate of Technical Sciences
Khadzhiev A. A.[1]

[1] *Grozny State University named after Academician M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia*
[2]*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia*
[3]*Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences (IPKON RAS), Moscow, Russia*

Annotation. The relevance of the study is determined by the growing intensity of metal ore mining and processing, which leads to heavy-metal pollution of rivers near mining enterprises. The subject of the study is the methodology and information-measuring methods for field research of river ecosystems in mountainous areas affected by the mining industry (the Ilek and Bolshaya Khobda rivers of the Aktobe region and their tributaries). The methodology combines field observations, instrumental

measurements and laboratory analysis. Methods for studying the hydrodynamics of a river flow are considered: measuring discharge and flow velocity (current meters, the photo-hydrometric LSPIV method, the slope-area method) and assessing turbulence and channel roughness using the Chézy formula. Hydrographic features of the channel – bends, rapids, riffles, floods, sediments and aquatic vegetation – and their influence on the distribution of pollutants are analysed. The choice of representative sampling stations for water and bottom sediments is substantiated with regard to hydrodynamic conditions. The main conclusion is that a sampling programme must be adaptive to the morphological features of each channel reach rather than standardised: integrated depth samples at rapids, separate bank sampling at bends, sampling by channel at bifurcations and biological samples in vegetation.

Keywords: river ecosystems, field research, methodology, hydrodynamics, sampling, mountain rivers, heavy metals.