

УДК 630.378, 539.3

*А. Г. Поздеев, С. Ф. Киркин,
С. Я. Алибеков, Ю. А. Кузнецова*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ЧАСТЕЙ НЕФТЕПРОВОДОВ НА ТЕРРИТОРИЯХ С ИНТЕНСИВНЫМ КАРСТООБРАЗОВАНИЕМ

Изложены направления инженерного обследования линейной части нефтепроводов, расположенных в областях карстообразования, опасных для их устойчивой эксплуатации.

Ключевые слова: магистральные нефтепроводы, карстовые процессы.

Введение. Действующие методические рекомендации по инженерно-геологическому обследованию магистральных нефтепроводов относят карстовые процессы к неосновным источникам возникновения аварийных ситуаций на линейных сооружениях нефтепроводов [1].

На участке нефтепровода «Сургут – Полоцк», проходящем по территории Республики Марий Эл, карстообразование происходит особенно интенсивно. Это требует уточнения действующей методики обследования участков нефтепроводов в районах концентрации карстующихся пород. В связи с этим предлагается интегральный способ оценки вероятности разрушения линейных инженерных сооружений магистральных нефтепроводов при неблагоприятном сочетании следующих природных факторов:

- трещиноватости растворимых горных пород;
- фильтрационного движения подземных вод;
- растворяющей способности воды.

Цель работы – обоснование оценки вероятности разрушения линейных частей магистральных нефтепроводов, проложенных в районах интенсивного карстообразования.

Объектом исследования является инженерно-геологическая оценка состояния магистральных нефтепроводов. Предметом исследования являются модели влияния процесса карстообразования на устойчивость линейных частей нефтепроводов.

Решаемые задачи:

- 1) усовершенствовать модель анализа карстовых явлений в зависимости от основных влияющих факторов;
- 2) разработать методику расчета эколого-экономического риска эксплуатации нефтепроводов;
- 3) произвести технико-экономическое обоснование поиска участков интенсивного карстообразования в районах прокладки линейных частей нефтепроводов.

Методы исследования. Для решения сформулированных задач исследования использованы элементы фрактальной геометрии, теории мультипликативных функций и риск-анализа.

Решение задачи. Карстовые явления представляют собой процессы растворения и размыва трещиноватых горных пород движущимися подземными и поверхностными водами и связанное с ними образование пустот на поверхности земли, а также полостей

под ее поверхность.

Основными условиями развития карста являются следующие факторы:

- трещиноватость растворимых горных пород, обеспечивающая их водопроницаемость, характерная для известняков, доломитов, мела, гипса и галита;
- фильтрационное движение подземных вод по трещинам горных пород;
- растворяющая способность воды, усиливаемая влиянием примесей различной химической природы и температуры.

Динамика факторов развития карстовых явлений требует мониторинга топографии, геологии, гидрогеологии и геохимии районов расположения линейных сооружений нефтепроводов.

Оценку развития карстовых явлений в зависимости от основных влияющих факторов, учитывающих трещиноватость и растворимость горных пород, а также интенсивность фильтрационного движения грунтовых вод, можно выполнить путем построения мультипликативных функций [2].

Определим возможность образования карста в виде карстового потенциала P , который запишем в виде

$$P = T^t \cdot R^r \cdot F^f, \quad (1)$$

где T , t – трещиноватость горных пород, оцениваемая по их фрактальной размерности, и степень ее влияния на карстообразование; R , r – растворимость горных пород, определяемая по относительной скорости растворения породы в сравнении со скоростью растворения базового минерала в лабораторных условиях, и степень ее влияния на карстообразование; F , f – интенсивность фильтрации, определяемая массовым расходом через трещиноватую поверхность и степень ее влияния на карстообразование.

Трещиноватость горных пород определим по фрактальной размерности [3]

$$dH = \frac{\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \ln N(\varepsilon)}{\ln(1/\varepsilon)}, \quad (2)$$

где $N(\varepsilon)$ – минимальное число трещиноватых элементов, покрывающих единицу объема породы и имеющих характерный размер ε .

При использовании фрактальной геометрии для описания пористых материалов возможно применение моделей «фрактал – поровое пространство» и «фрактал – система трещин в пористом теле». Первая из моделей может быть использована для материалов с близкой к нулю пористостью, а вторая – для минералов с пористостью, близкой к единице.

Методы определения фрактальной размерности и, следовательно, трещиноватости породы сводятся к прямым и косвенным методам.

Прямые методы связаны с экстремальным изменением геометрического строения породы. Косвенные методы связаны с исследованием процессов, протекающих в объекте (диффузии, фильтрации, электропроводности), когда из решения модельных уравнений процесса путем сравнения с экспериментом находятся параметры геометрического строения трещиноватости породы.

Прямым методом является, например, анализ рассеяния породой сканирующего электромагнитного излучения. Амплитуда рассеяния A волны длиной L с вектором \bar{k} на трещиноватой породе при масштабах, много меньших L , не зависит от деталей строения. Амплитуда рассеяния излучения породой совпадает с амплитудой рассеяния на гладком модельном объекте $S(L)$ при масштабах, меньших L

$$A(\bar{k}, S) = A(\bar{k}, S(L)). \quad (3)$$

Дифференциальное сечение рассеяния в направлении вектора \bar{k} зависит от частоты волны ν и определяется в виде

$$\delta \approx \text{const}_1 + \text{const}_2 \nu^\beta, \quad (4)$$

где β зависит от фрактальной размерности dH . Следовательно, характер изменения сечения δ дает способ определения для фрактальной размерности dH .

При оценке движения грунтовых вод следует учитывать особенности водного баланса характеристик сегментов водных бассейнов, оказывающих влияние на инженерные сооружения.

В качестве первого приближения такой оценки может быть использована автоматизированная версия Стэнфордской водобалансной модели типа «Осадки – сток» [2].

В ряде бассейнов часть грунтовых вод просачивается ниже низшей точки русла и никогда не возвращается в русло в виде подземной проточности. При этом часть воды уходит в неактивный запас грунтовых вод, а остальная вода входит в активный запас W_{GW} .

Из активного запаса вода уходит в русло в объеме приращения грунтового стока

$$G_{WF} = \beta(1 + K_V \cdot G_{WS})S_{GW}, \quad (5)$$

где S_{GW} – текущий объем грунтовых вод; β – константа оттока, связанная с константой рецессии грунтовых вод, $\beta = 1 - K_{24}\Delta t / 24$; K_{24} – отношение грунтового стока в произвольный момент времени к стоку, наблюдаемое 24 часа назад; Δt – шаг по времени в часах.

Параметр $K_V \cdot G_{WS}$ учитывает падение уровня грунтовых вод после сильного дождя. Скорость оттока грунтовых вод является функцией коэффициента запаса грунтовых вод G_{WS} , определяемого в виде

$$G_{WS}^t = 0,97(G_{WS}^{t-1} + \Delta S_{GW}). \quad (6)$$

Величина K_V выбирается так, что скорость оттока будет меняться от большой начальной величины до β , в то время как G_{WS} уменьшается между ливнями.

Модель сохранения массового расхода на трещиноватой породе строится в виде

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho d\mu_H = - \int_\Sigma j_n d\mu_\Sigma, \quad (7)$$

где ρ – массовая плотность подземной воды; V – часть объема породы, ограниченная поверхностью Σ ; n – нормаль к Σ ; j_n – поток массы через Σ ; $d\mu_H$ – мера Хаусдорфа; $d\mu_\Sigma$ – индуцированная мера на Σ ; m – аналог пористости.

Чтобы величина $\int_V \rho d\mu_H$ имела размерность массы с учетом размерностей $[d\mu_H] = L^{dH}$, $[\rho] = ML^{-3}$, необходимо, чтобы m имела размерность $[m] = L^\varepsilon$, где $\varepsilon = D - dH$ – дефект пространства. При $\varepsilon = 0$ величина m становится обычной пористостью. Величина D является размерностью пространства задачи.

В пренебрежении силой тяжести следует записать

$$J_n = - \frac{k}{\mu} \rho D_n^{dc} P, \quad (8)$$

где μ – сдвиговая вязкость; k – аналог проницаемости с размерностью $[k] = L^{\varepsilon+dc+1}$;

P – давление грунтовых вод; D_n^{dc} – фрактальная производная в направлении нормали n . При химической размерности фрактала $dc = 1$ выражение для J_n дает закон фильтрации Дарси.

Для получения растворимости горных пород R может быть использована линейная дифференциальная модель

$$dR(t) = R_G + C[R(t) - R_S] dt, \quad (9)$$

где R_G – темп роста растворимости; R_S – стандартный уровень растворимости; C – константа пропорциональности; t – текущее время.

Величина коэффициента C определяется по данным лабораторных измерений по формуле

$$C = -\frac{1}{\tau} \ln \left(1 - \frac{\alpha}{100} \right), \quad (10)$$

где τ – стандартное время наблюдений; α – процент разрушения массы породы за время τ .

Природный фон оказывает влияние на величину C , поэтому требуется дополнительный анализ фактора ускорения разрушения породы в естественных условиях.

Отдельного изучения требует процесс механического воздействия карстообразования на разрушение инженерных сооружений.

Методика расчета эколого-экономического риска эксплуатации нефтепроводов. Материалы мировой статистики и события последних лет свидетельствуют о том, что полностью исключить возможность повреждения и разрушения нефтепроводов нельзя. Более того, вероятность аварий на нефтепроводах увеличилась [4].

Основным антропогенным фактором повреждения нефтепроводов чаще всего служит недостаточное гидрологическое и инженерно-геологическое обоснование проектов.

Наиболее распространенной мерой риска является показатель среднего риска, рассчитываемый по формуле

$$R = \sum_{i=1}^n P_i X_i, \quad (11)$$

где P_i – вероятность получения ущерба размера X_i , в результате наступления неблагоприятного события; X_i – величина ущерба, выраженная в натуральных единицах; R – средний риск, выражаемый в натуральных единицах; n – число альтернатив ущерба, включая и нулевой ущерб.

На нефтепроводе можно разработать и осуществить защитные меры. Если допустить, что нефтепровод не влияет на возможность проявления неблагоприятного события, то риски таких событий относятся к «чистым рискам». Защитные меры связаны с материальными затратами, поэтому и вероятность ущерба связана с произведенными затратами и показатель среднего риска примет вид

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_j P_i(j, z_j) X_i, \quad (12)$$

где $P_i(j, z_j)$ – условная вероятность возникновения ущерба X_i при наступлении неблагоприятного события j -го типа и осуществления защитных мероприятий с затратами z_j .

В исследованиях рисков редких независимых событий широкое применение нашел закон Пуассона [4], согласно которому вероятность числа неблагоприятных событий в единицу времени определяется выражением

$$P(n_j) = \frac{1}{n_j} a_j^{n_j} e^{-a_j}, \quad (13)$$

где n_j – число событий j -го вида за расчетный период времени; a_j – математическое ожидание события.

При большой интенсивности событий значение

$$a_j = \lambda_j \Delta t, \quad (14)$$

где λ_j – среднее число событий в единичном интервале времени; Δt – длительность интервала.

Закон Пуассона следует из биномиального закона в предположении, что $n \cdot p = \text{const}$ и $n \rightarrow \infty$. При этом $p \rightarrow 0$, и, следовательно, событие становится редким.

Для пуассоновского закона вероятность хотя бы одной чрезвычайной ситуации j -го типа в течение рассматриваемого интервала времени определяется по формуле

$$Q_j = 1 - P(Q_j) = 1 - e^{-a_j}. \quad (15)$$

Для очень редких, но глобальных, событий допустимо следующее равенство

$$Q_j = a_j. \quad (16)$$

Поэтому среднее время между редкими событиями за единичный период может быть вычислено в виде

$$\Delta \tau_j = 1 / \lambda_j. \quad (17)$$

На практике при оценке значения λ_j обычно учитывается, что вероятность аварий зависит от большого числа природных, антропогенных, технологических и других факторов, меняющихся по участкам трассы, поэтому λ_j можно представить в виде некоторой функции $\lambda_j = f(x_j)$, где x_j – вектор влияющих факторов.

Пуассоновская вероятность наступления хотя бы одного события чрезвычайного характера в течение периода времени t равна

$$Q_j = 1 - P(Q_j) = 1 - e^{-\lambda_j t}, \quad (18)$$

где λ_j – интенсивность аварий j -го вида, а произведение $\lambda_j t$ – потенциал аварий объекта за время t . Величина $\lambda_j = 1 / \Delta \tau_j$, где $\Delta \tau_j$ – единичный цикл наступления события вида j .

При наступлении однотипных неблагоприятных событий ($j = 1$) запишем

$$Q = 1 - P(Q) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (19)$$

где t – время прогноза, которое для нефтепровода может быть принято равным проектному сроку его эксплуатации.

Наиболее простым подходом к определению потенциала аварий нефтепроводов является исчисление интенсивности аварий на основе статистических данных об аналогичных событиях за некоторый период времени наблюдений.

В зависимости от совокупности конкретных значений влияющих факторов интенсивность аварий λ_j на участке нефтепровода будет отличаться от среднестатистиче-

ской по всем участкам магистрального нефтепровода λ_j^{cp} на 1000 км трассы в год за последние пять лет, обычно принимаемой для оценок подобного рода. По данным ОАО «Транснефть», среднестатистическая вероятность аварий на 1000 км трассы в год за последние пять лет равна $\lambda_j^{cp} = 0,16$.

Экономические оценки последствий разрушения нефтепроводов. При больших массивах разнородной информации взамен калькуляции потерь при чрезвычайном событии могут быть использованы приближенные оценки ущерба на основе экономических показателей, реконструируемых из показателей качества проектных решений [2].

На основе показателя качества проекта Энсофа можно оценить значимость ущерба в виде

$$E = \frac{r \cdot p(T + B)E^*}{K^*}, \quad (20)$$

где r – вероятность наступления чрезвычайной ситуации; p – вероятность успешной реализации защитных мероприятий; T, B – показатели технического и экономического эффекта от внедрения защитных мероприятий; K^* – приведенные к стоимости участка нефтепровода годовые суммарные вложения в строительство и эксплуатацию средств защиты; E^* – приведенная к стоимости нефтепровода величина предотвращенного ущерба от его разрушения.

Разумеется, оценки на основе приведенного показателя носят условный характер, но формируют подход к определению целесообразности проекта по проведению защитных мероприятий до начала подробного технико-экономического анализа на стадии выработки исходных требований на проектирование.

Технико-экономическое обоснование поиска карстоопасных участков линейных частей нефтепроводов. Основные затраты на проведение поиска областей карстообразования производятся за счет натуральных экспедиционных изысканий. В состав затрат на экспедиционные изыскания включаются затраты на снаряжение и эксплуатацию аппарата (технологического транспортного средства для обнаружения карстоопасных участков в районе прокладки нефтепровода), а также на сбор геологических данных о залегании карстующихся пород.

Полезный эффект от проведения изысканий можно исчислять количеством обнаруженных областей залегания карстовых пород, могущих оказать неблагоприятное воздействие на устойчивость линейных частей нефтепровода.

Следовательно, задача в целом сводится к определению времени обнаружения неблагоприятного участка с заданной вероятностью [5].

Аппарат для проведения обследования трассы нефтепровода имеет некоторую собственную автономность A_a и скорость V_{ann} . Район поиска определен длиной трассы нефтепровода S_a , подсчитываемой по топографическим данным.

В случае, когда время автономности заканчивается, а объект поиска не обнаружен, аппарат возвращается на базу и после окончания межрейсового периода вновь выходит в район поиска для продолжения работ.

Общая длительность работ определяется заданной вероятностью обнаружения объектов поиска и технико-эксплуатационными элементами аппарата, осуществляющего поиск.

Величина приведенных затрат, принятых за критерий экономической эффективности, зависит от интенсивности поиска, его потенциала и вероятности обнаружения объекта в течение одного экспедиционного поиска. На этом основании экспедиционные затраты исчисляются по следующей схеме.

Первый этап – *определение вероятности обнаружения объекта –карстоопасного участка*. Эта величина равна накопленной вероятности обнаружения объекта

$$P = 1 - \exp\left(-\sum_i \gamma_i t\right), \quad (21)$$

где γ_i – интенсивность поиска некоторого объекта i , а произведение $\gamma_i t$ – потенциал поиска объекта за время t .

Приведенная формула для накопленной вероятности обнаружения хотя бы одного объекта может быть распространена и на случай, когда аппарат не обнаруживает ни одного объекта поиска.

Определим интенсивность поиска γ_i .

Предположим, что место нахождения объекта поиска распределено по закону равномерной плотности, т.е. объект с одинаковой вероятностью находится в любом месте участка поиска S_a . При этом элементарная вероятность обнаружения объекта за промежуток dt (потенциал поиска) равна отношению длины обследованной трассы S_o к длине участка поиска S_a ($\gamma_i t = S_o / S_a$).

За время dt аппарат перемещается на расстояние $S_a = V_a dt$, поэтому интенсивность поиска равна

$$\gamma_i = \frac{S_o}{V_a dt} P_k, \quad (22)$$

где P_k – вероятность обнаружения, зависящая от качества средств обнаружения объекта.

Величина P_k возрастает с ростом технической вооруженности экспедиции и (или) усовершенствованием критерия оценки состояния трассы нефтепровода. Одновременно с ростом оснащённости экспедиции увеличиваются затраты на ее снаряжение. Иначе обстоит дело с выработкой критерия: некоторый рост затрат на разработку критерия поиска снижает требования к качеству снаряжения экспедиции, что, в конечном счете, уменьшает затраты на проведение работ в целом.

Если поиск производится систематически, то потенциал поиска будет иметь вид

$$\gamma_i t = \gamma_i \frac{2}{2 - P_k} t, \quad (23)$$

а накопленная вероятность обнаружения

$$P = 1 - e^{-\gamma_i t}. \quad (24)$$

Величина V_a равна скорости проведения экспедиционных мероприятий и может отличаться от скорости аппарата V_{ann} , т.е. $V_a < V_{ann}$.

Время одного экспедиционного поиска (на обнаружение одного объекта) определяется по заданной автономности аппарата A_a и психофизиологическими возможностями членов экспедиции A_o , поэтому

$$t = \min\{A_a, A_o\} - (t_n + t_e), \quad (25)$$

где $\{A_a, A_o\}$ – длительность элементарного этапа экспедиции с учетом автономности аппарата и членов экспедиции; t_n – время на прибытие в зону поиска; t_e – время возвращения в базовый лагерь.

Второй этап – *определение числа поисков на обнаружение объекта по формуле*

$$n = -\frac{\ln(1 - P_3)}{\gamma_i t}, \quad (26)$$

где P_3 – заданная вероятность обнаружения объекта.

Третий этап – *определение времени работы экспедиции.*

Поскольку затраты времени на один цикл работ по поиску равны

$$t_u = t + t_n + t_e + t_o, \quad (27)$$

где t_o – время остановки (отдыха) и обслуживания аппарата, то общие затраты времени на обнаружение одного объекта равны

$$t_{обн}(P_3) = nt_u. \quad (28)$$

С учетом вероятных неблагоприятных погодных условий P_n получим время обнаружения

$$T_{обн} = t_{обн} \frac{1}{1 - P_n} = \frac{nt_u}{1 - P_n}. \quad (29)$$

Четвертый этап – *определение общего времени экспедиции по формуле*

$$T_o = \frac{nt_u}{(1 - P_n)k}, \quad (30)$$

где k – коэффициент, определяемый доставкой экспедиции и аппарата к месту обследования.

Пятый этап – *определение среднесуточных эксплуатационных затрат*, которые равны

$$C_a = (0,029D_a^{2/3} + 0,5) \frac{Ц_a}{Ц_{ан}}, \quad (31)$$

где D_a – вес аппарата; $Ц_a$ – действующая цена на аппарат во время проведения экспедиции; $Ц_{ан}$ – цена аппарата на момент приобретения, которая может быть выбрана по цене аппарата - аналога.

Шестой этап – *определение приведенных затрат на проведение экспедиции.*

Если расходы на содержание членов экспедиции в сутки равны C_3 , то приведенные затраты составят

$$З = \left(C_{ан} + C_n \frac{E_n}{365} \right) T_o, \quad (32)$$

где $E_n = 0,12$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; $C_{ан} = C_a + C_n$ – стоимость затрат по аппарату; C_n – стоимость постройки аппарата, $C_n = Ц_{ан}$; C_3 – стоимость затрат по экспедиции.

Выводы.

1. Введение интегрального показателя карстового потенциала в виде мультипликативной функции позволяет построить методику оценки влияния физико-химических факторов на процесс развития карстовых явлений.

2. Элементарная теория фракталов создает возможность оценки значимости влияния трещиноватости горных пород на процесс карстообразования.

3. Влияние движения грунтовых вод на карстовые процессы вызывает необходимость разработки водобалансных моделей для областей, расположенных вблизи трасс прокладки нефтепроводов.

4. Оценка растворимости горных пород может быть произведена путем сравнения динамики ее темпа в природных и лабораторных условиях.

5. В исследованиях рисков редких независимых событий, к которым относится риск разрушения нефтепроводов, широкое применение нашел закон Пуассона. Входящая в зависимость для его определения интенсивность аварий обычно рассматривается как показатель количества аварий на физическую единицу в год. Поскольку такие события достаточно редки, то в этих случаях выдвигается предположение о том, что вероятность события характеризует возможность его проявления, сопровождающуюся значительным ущербом.

6. При больших массивах разнородной информации взамен калькуляции потерь при чрезвычайном событии предложено использовать приближенную оценку ущерба на основе экономического показателя Энсофа, реконструируемого из показателя качества проектных решений.

Список литературы

1. Методические рекомендации по инженерно-геологическому обследованию линейной части магистральных нефтепроводов. Рабочий документ (РД). – М.: Минтопэнерго, АК «Транснефть», 1995. – 56 с.
2. Поздеев, А.Г. Системный эколого-экономический анализ состояния водных ресурсов: Научное издание / А.Г. Поздеев, Ю.Е. Разумов, Ю.А. Поздеева и др. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2002. – 47 с.
3. Динариев, О.Ю. Фильтрация в трещиноватой среде с фрактальной геометрией трещин/ О.Ю. Динариев // Изв. АН СССР. МЖГ. –1990. –№5. –С. 66-70.
4. Тихомиров, Н.П. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками: Учеб. пособие для вузов / Н.П. Тихомиров, И.М. Потравный, Т.М. Тихомирова. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 350 с.
5. Форрестер, Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М.: Наука, 1978. – 167 с.

Статья поступила в редакцию 24.05.11.

A. G. Pozdeev, S. F. Kirkin, S. Ya. Alibekov, Yu. A. Kuznetsova

ASSESSMENT IMPROVEMENT OF LINEAR PIPELINES ECOLOGICAL STATE IN THE AREAS WITH INTENSE KARSTIFICATION

Tendencies of engineering research of linear pipelines are stated. The pipelines are situated in the areas of karstification, which are dangerous for stable exploitation of the pipelines.

Key words: *oil-trunk pipelines, karstic processes.*

ПОЗДЕЕВ Анатолий Геннадиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов МарГТУ. Область научных интересов – проблемы водного транспорта и комплексного освоения водных ресурсов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор более 60 публикаций, в том числе семи монографий, трех учебных пособий, 10 патентов и авторских свидетельств на изобретения.

E-mail: PozdeevAG@marstu.net

КИРКИН Станислав Федорович – доктор технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – создание комплексов экологически безопасных внедорожных самоходных амфибийных транспортных средств с управляемой воздушной разгрузкой (САВР); исследование технических характеристик и режимов работы транспортных средств с воздушной разгрузкой в условиях пересеченной местности; разработка аэродинамических движителей самоходных транспортных платформ с воздушной разгрузкой и контактными движителями. Автор более 80 публикаций.

E-mail: KirkinSF@marstu.net

АЛИБЕКОВ Сергей Якубович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машиностроения и материаловедения МарГТУ. Область научных интересов – материаловедение и технология термической обработки материалов; разработка технологии очистки поверхности изделий и способы ее защиты; разработка технологии очистки поверхности железных археологических предметов; разработка технологий утилизации и очистки промышленных отходов и сточных вод предприятий. Автор 120 публикаций.

E-mail: AlibekovSY@marstu.net

КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры водных ресурсов МарГТУ. Область научных интересов – исследование и моделирование русловых процессов в нижних бьефах гидроузлов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор 15 публикаций, в том числе одной монографии и одного патента РФ.

E-mail: 2103Julia@mail.ru