

УДК 336.748.14 (575.14)

С. К. Вейсов¹, Г. О. Хамраев², А. Д. Акыниязов³

¹К. г. н., ведущий научный сотрудник (Национальный институт пустынь, растительного и животного мира Государственного комитета по охране окружающей среды и земельным ресурсам, Ашхабад, Туркменистан)

²К. г. н., заведующий кафедрой гидрометеорологии (Туркменский государственный университет им. Магтымгулы, Ашхабад, Туркменистан)

³Заместитель директора Службы экологического контроля (Государственный комитет Туркменистана по охране окружающей среды и земельным ресурсам, Ашхабад, Туркменистан)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ПЕСКОВ КАРАКУМОВ

Аннотация. Показаны различные направления исследований теоретических основ закрепления подвижных песков, проведенных в лаборатории закрепления и облесения песков Национального института пустынь, растительного и животного мира (НИПРЖМ) Государственного комитета по охране окружающей среды и земельным ресурсам Туркменистана. Комплексное изучение ветрового режима и формирование различных типов эолового рельефа позволили разработать методы по закреплению подвижных песков в Туркменистане. Каждый из приведенных методов показал большую эффективность и экономичность в борьбе с дефляционными процессами на различных инженерных объектах Туркменистана.

Ключевые слова: пески, пустыня Каракум, эоловый рельеф, перенос песка, опустынивание.

Освоение пустынных регионов Каракумов связано с увеличением добычи углеводородного сырья, а это на фоне усиления природных процессов опустынивания ведет к увеличению территорий, где очень быстро распространяется опустынивание. Причинами техногенного опустынивания являются антропогенные факторы. Их усиление в сочетании с природными условиями, например сухой аридный климат, разнообразие и подвижность песчаного субстрата, разреженный растительный покров и т.д., усиливают процессы деградации земель [2]. Это приводит к образованию подвижных песков. При обустройстве газовых месторождений повсеместно нарушается естественный ландшафт, и так как эоловый рельеф теряет свою устойчивость, это способствует возникновению активных песчаных заносов на различных инженерных объектах. Газовые промыслы имеют разветвленную сеть коммуникаций. Их строительство, особенно магистральных газопроводов, вызывает необходимость выполнения землеройных работ. При этом создается полоса планировки шириной 20–30 м для движения механизмов и возведения траншеи, на которой полностью уничтожается дерновый покров. В зависимости от количества линий трубопроводов, укладываемых на трассе, ширина полосы колеблется от 50 до 200 м. При опустынивании ландшафты теряют биологическую продуктивность, изменяется их радиационный баланс, обедняется видовой состав фитоценозов и зооценозов, развиваются процессы дефляции, что резко снижает экономический потенциал аридных ландшафтов Туркменистана [4].

При широкомасштабных исследованиях первоочередной задачей являются разработка теоретических подходов и методов оценки природных явлений, изучение природных и антропогенных рельефообразующих процессов. Это новое направление в современной инженерной геоморфологии. Для решения поставленной задачи необходимо проанализировать все доступные источники по теоретическим и практическим направлениям изучения, картографирования и прогнозирования природных процессов в различных климатических, геологических и неотектонических условиях. Результаты такого научного подхода должны сочетаться с широкими полевыми наблюдениями, что даст возможность создать теоретическую базу для современного геоморфологического и

ландшафтного районирования с классификацией ландшафтов эоловых равнин Туркменистана. На данной основе были разработаны современные методы защиты инженерных объектов от дефляционных процессов в зависимости от различного генезиса и ранга ландшафтов. Хозяйственная деятельность стала фактором эолового образования и «создает качественно новые условия в естественном ходе развития природной среды Каракумов» [3]. Выявленные закономерности позволяют произвести пространственно-временной прогноз и оценить степень риска последствий при развитии процессов техногенного опустынивания. Для их предотвращения необходимо знать особенности формирования конкретных форм песчаного рельефа, механизм их образования, ветровой режим, литологический состав песков территории, что требует учета региональных, индивидуальных природных особенностей конкретной территории. Инженерно-геоморфологические условия пустыни Каракум имеют неповторимые специфические условия, которые и диктуют применение различных методов закрепления подвижных песков [5-7, 12, 13]. Важным является изучение ветрового режима, который в течение года меняется, что приводит к формированию различных форм эолового рельефа. Следовательно, на первый план выходит изучение роли ветра, смены сезонных его направлений на многолетней основе.

В Национальном институте пустынь, растительного и животного мира (НИПРЖМ) Государственного комитета по охране окружающей среды и земельным ресурсам Туркменистана разработана методология исследования ветрового режима на основе многолетних данных метеостанций, расположенных в различных частях страны. На ее основе был разработан метод конформного отображения. Он позволил получить профиль, напоминающий профиль эоловой ряби и бархана, формирующийся при ветрах только одного направления. Если же направление ветра меняется на противоположное, формы изменяются, профиль гряды формируется при противоположных (знакопеременных) направлениях ветра [10, 11].

Для выяснения роли ветров сезонных направлений в формировании профиля песчаной гряды рассмотрим среднегодовые годографы скорости переноса песка по сезонам. Для направлений ветра определяется скорость перемещения ветропесчаного потока по многолетним данным для каждого месяца:

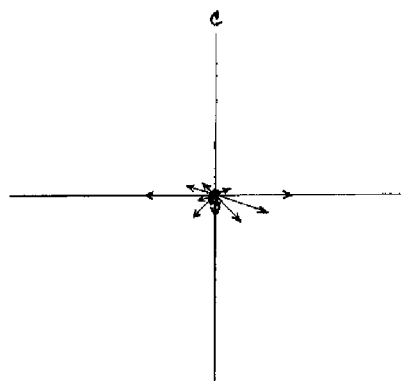
$$v_{в.п.} = 0,42 \cdot n (v_{с.г.} - 4) \text{ м/с,}$$

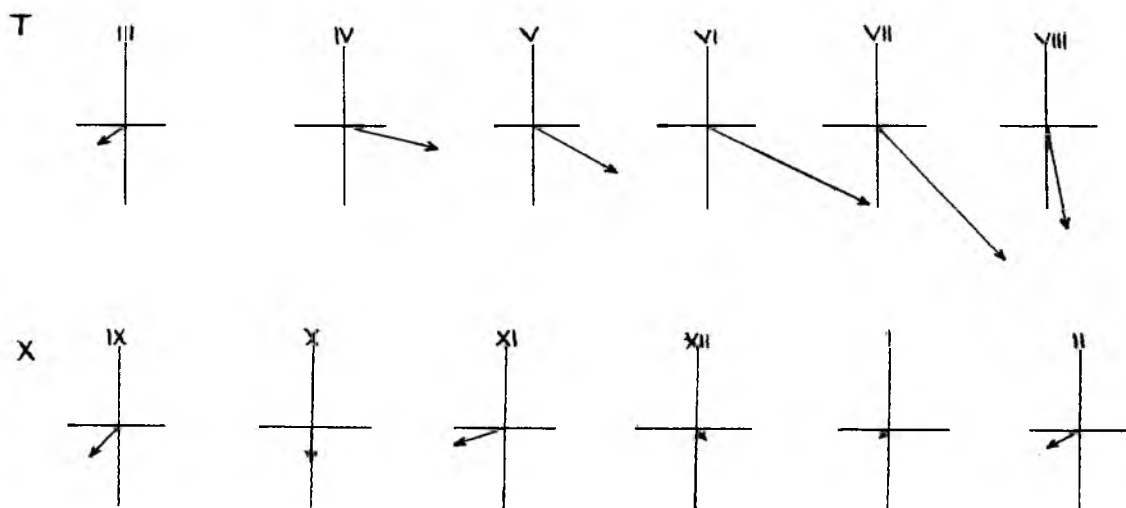
где $v_{в.п.}$ – скорость ветропесчаного потока; n – число случаев повторяемости ветра данного направления; $v_{с.г.}$ – среднегодовая скорость ветра. На основе анализа многолетних показателей по ветру (метеостанция «Ербент») были построены годографы скорости ветропесчаного потока. А цифрами обозначено количество перемещаемого ветром песка пропорционально кубу скорости ветра по теплому и холодному сезонам:

$$Q = 0,006 \cdot n (v_{с.г.} - 4)^3 \text{ м}^3/\text{м} \cdot \text{год.}$$

Деление на теплый и холодный сезоны условно и часто не совпадает с сезонами года. Холодный и теплый сезоны определяются по повороту результирующего вектора. Месяц, в котором отмечен такой поворот, принимается за начало сезона. Среднегодовая скорость ветра определяется суммированием активных скоростей ветра (т.е. > 4 м/с) и деления полученной суммы на число случаев по данному направлению каждого месяца, например за 10 лет (рисунки 1, 2).

Рисунок 1 –
График возможных объемов переноса
незакрепленного песка в $\text{м}^3/\text{м} \cdot \text{год}$
по метеостанции «Ербент».
Масштаб: в 1 см – 1 м^3





М: 1 см = 40 случаев

Рисунок 2 – Графики результирующих векторов среднемесячных скоростей ветропесчаного потока, построенные по многолетним данным метеостанции «Ербент» (Т, Х – теплый и холодный ветровые сезоны)

Показатель результирующей на годографе скорости ветропесчаного потока показывает направление продольных осей песчаных гряд, векторы сезонных направлений расположения продольных осей барханных форм.

Применяя метод конформного отображения с учетом сезонных направлений переноса песка, можно получить контур формы, напоминающий поперечный профиль песчаной гряды. Таким образом, сезонные (знакопеременные) направления ветров формируют барханные формы и поперечный профиль гряды, которая своей продольной осью ориентируется по результирующей сезонных ветров.

Перенос песка в основном осуществляется ветрами сезонных направлений, а по результирующей формируется гряда с очень малым смещением. По мнению Л. Г. Добрина [9], профиль, изображенный на рисунке 2, напоминает профиль сравнительно молодой гряды с обарханенной вершиной, на которой барханные формы перестраиваются в соответствии с сезонными ветрами.

В результате деятельности ветров сезонных направлений значительное перемещение песчаных масс наблюдается в широтном направлении, например для районов расположения метеостанций «Бахардок», «Ербент», «Дарваза» (Центральные Каракумы).

Ветры западных румбов перемещают песок на восток в тёплое время года, а ветры восточных румбов, дующие в основном в холодное время года, – в западном направлении поперёк гряд, расположенных в этих районах. Такое перемещение за длительный промежуток времени можно рассматривать как колебательный процесс, обусловленный сложившимся ветровым режимом.

Перемещение песчаных масс в направлении, близком к меридиональному (с севера на юг), происходит с малой скоростью вдоль гряды. В среднем за год число колебаний (перемена направлений ветра) может достигать 500–600. В соответствии с этим с такой же частотой происходит перемещение песчаных масс за исключением случаев значительного промачивания песка после дождя.

Перемещённый объём песка после действия ветра не возвращается на прежнее место, а остается на новом месте до следующих ветров. По теории колебаний, если действие вынуждающей силы (в нашем случае силы ветра) прекращается, а восстанавливающая сила не возникает, то тело, перемещённое в новое положение, находится в общем равновесии. В рассматриваемом случае каждый раз после действия ветра перемещённый песок находится в безразличном равновесии. Поскольку периодическое движение воздушных масс вызывает периодическое перемещение песчаных масс на земной поверхности, то такая периодичность отражается в виде периодического перемещения эоловых форм песчаного рельефа.

Периодическое движение воздушных масс и связанное с ним движение песчаных масс напоминает вынужденные колебания связанных между собой гигантских маятников с периодом колебаний от нескольких часов до нескольких суток (в соответствии с режимом ветров рассматриваемого района). Учитывая общее равновесие для перемещенного некоторого объема песка, можно сказать, что песок, перемещаясь в виде эоловых форм, проходит путь $S = v_6 t$, где v_6 – скорость движения барханной формы; t – время действия ветра какого-либо направления.

Если ветер дует порывами, то t представляет сумму порывов, каждый со своей длительностью.

Эоловая форма рождается под воздействием ветров, дующих в одном направлении. Если направление ветра меняется, то эоловая форма перестраивается и движется по новому направлению. В результате за год движение эоловых форм носит колебательно-поступательный характер. Если амплитуда колебания знакопеременной составляющей сравнительно незначительна, то возможно формирование песчаных гряд, ориентированных параллельно господствующим ветрам.

Формирование ячеистого типа эолового рельефа обусловлено воздействием знакопеременных ветров перпендикулярных направлений.

На основе данной методики можно рассчитать прогнозные количество переносимого ветром песка за теплый и холодный ветровые сезоны. Анализ ветрового режима и знание особенностей переноса песка необходимы для оценки ветродефляционной обстановки исследуемого района и разработки надежных методов закрепления подвижных песков.

В последнее время все чаще применяются пескозащитные покрытия на основе различных фиксирующих веществ. Основой технологии пескозащитных покрытий является химическое строение фиксаторов и их физико-химические свойства [8]. Фиксирующие вещества не должны обладать токсичностью к животным и растениям, должны быть дешевыми, доступными, стабильными и давать покрытие с хорошей ветроэрозийной устойчивостью.

Пескозащитное покрытие может быть получено:

фиксацией песка, т.е. склеиванием песчаных частиц клеящими веществами (фиксаторами) минерального и органического состава как естественного, так и искусственного происхождения или эмульсиями типа масло в воде, наносимыми на песчаную поверхность путем разбрызгивания или замесов жидкого фиксатора с песком;

термической обработкой песка, когда песок подвергается спеканию с различными добавками, вводимыми для понижения температуры спекания, или обжигу с последующим смачиванием песка водными растворами извести, цемента и другими активными добавками;

химической обработкой песка, когда минералы песчаных частиц вступают в химическую реакцию с фиксирующими веществами или после специальной обработки приобретают повышенную активность к фиксирующим веществам;

накладыванием на песчаную поверхность в готовом виде защитных пленок, корок, гранул или их комбинаций с жидкими фиксаторами.

Материалы покрытия не должны быстро подвергаться разрушению ветропесчаным потоком. Наблюдения над различными покрытиями показали, что связи между частицами зависят от химической природы фиксатора и могут быть подразделены на:

1. Жесткий тип связи, когда песчаные частицы лишены возможности взаимного перемещения. Под воздействием внешней нагрузки такой тип связи нарушается и или не восстанавливается после снятия внешней нагрузки (фиксация песка цементом, жидким стеклом, а также обжиг и спекание песка), или восстанавливается, но частично, при определенных благоприятных условиях (фиксация песка водными растворами, полиакриламидами или структурообразователями К-4, К-6 и др.).

2. Пластичный тип связи, когда песчаные частицы имеют возможность перемещения без нарушения связей и легко восстанавливают нарушенные связи, если имеется возможность контакта разъединенных мест (фиксация песка смесями мазута или битума с отработанными машинными маслами, не пригодными для дальнейшей регенерации).

3. Эластичный тип связи, когда песчаные частицы имеют ограниченную возможность перемещения. Такой тип связи под воздействием внешней нагрузки (в пределах упругой деформации материала фиксатора) обычно не нарушается, а всё покрытие деформируется и частично принимает первоначальную форму после снятия внешней нагрузки (фиксация песка бутадиеновым и дивинилстирольным латексами).

Передвижение песчаных частиц по поверхности происходит скачками (сальтация). Импульсная теория отрыва позволяет приближенно вычислить потерю механической энергии песчаной частицы, ударяющейся при сальтирующем движении как о незакрепленную, так и закрепленную песчаную поверхность.

Для незакрепленной песчаной поверхности потеря энергии составляет примерно 60–80% и более, причем происходит в основном за счет неупругой деформации, т.е. перемещения группы частиц, принявших на себя ударный импульс, и уплотнения нижележащего слоя песка. Для закрепленной песчаной поверхности потеря кинетической энергии составляет примерно 50–60%, а оставшаяся энергия представляет собой энергию трения и энергию упругой деформации, которая достаточна для отскока песчаной частицы от поверхности в поток.

Перемещение песчаных частиц по поверхности покрытия можно рассматривать как движение абразивного материала, в результате которого покрытие подвергается стиранию. Полевые наблюдения показали, что на поверхности покрытия, выполненного на основе фиксирующих растворов дорожного битума и мазута в жидкой сырой нефти, через 15 дней появляется тонкий огрубевший слой. Вязкость фиксатора в этом слое значительно превышает начальную вязкость свежего фиксатора. В дальнейшем пескозащитное покрытие разрушается не только ветропесчаным потоком, но и воздействием физико-химических факторов, действующих иногда одновременно: влага, солнечные лучи, засоленность песков и окисляющее действие кислорода воздуха. В результате чего возникает химическая и фотохимическая деструкция фиксирующего материала – он грубеет, становится ломким, и наступает процесс старения, сопровождающийся разрушением молекул полимера на мономеры.

Одним из важных видов химической деструкции является окисление. В полевых условиях от воздействия кислорода, воды и водных растворов солей происходит соединение молекул воды с молекулами полимера [1]. Это наблюдается и в покрытиях, выполненных на основе латексов, полиакриламида, синтетических смол, сланцевых смол и смол нефтяного происхождения. В их составе присутствуют непредельные углеводороды или соединения с сильно нарушенными химическими связями, например в результате глубокого отбора фракций из нефтяного сырья, а также гетерогенные соединения.

Практический интерес представляет покрытие с пластичным типом связи между частицами песка. Такое покрытие не растрескивается, поскольку лишено внутренних напряжений, присущих покрытиям с жестким типом связи. Наиболее перспективными в этом отношении являются растворы дорожного битума и мазута в отработанных машинных маслах. В момент опрыскивания песчаной поверхности такими фиксирующими растворами смолы, содержащиеся в битумах и мазутах, задерживаются в верхнем слое песка, создавая со временем твердую бронирующую корочку, а более легкие компоненты – масла проникают глубже в песок, создавая слой с пластичным типом связи между частицами. Жидкие фиксирующие смеси желательно наносить на песчаную поверхность путем разбрызгивания. При удачном подборе компонентов фиксатора и применении соответствующих технологических приемов можно получить устойчивое покрытие с заданными свойствами и хорошими аэродинамическими качествами. Такое покрытие будет иметь небольшую шероховатость и оказывать малое сопротивление набегающему ветропесчаному потоку, который на больших скоростях будет проходить по поверхности покрытия без аккумуляции песка. Таким образом, можно будет применять принцип безаккумуляционного переноса песка при защите автомобильной дороги от песчаных заносов в районах, где обычные фитомелиоративные приемы малоэффективны. Закрепление песков клеящими веществами можно применить при защите автомобильных дорог от песчаных заносов, нефте- и газопроводов от выдувания, а также при защите от выдувания гидротехнических сооружений, возводимых в подвижных барханных песках.

Наиболее распространенным методом закрепления подвижных песков является устройство скрытых или полускрытых рядов или клеток из камыша (механические защиты) (рисунок 3), но он требует очень больших физических и материальных затрат.

Поэтому мы предлагаем метод, который позволяет снизить трудоёмкость работ по устройству в песке скрытых, сплошных твердых стенок шириной (по глубине) до 10–15 см при расстоянии между ними 1,5–2,0 м. Стенка выполняется из песка, скрепленного жидким клеящим веществом.



Рисунок 3 – Закрепление барханных песков механическими заплатами

Это вещество подается под давлением в трубку, из которой через отверстия поступает в разрыхленный слой песка, остающийся за движущейся трубкой. Приваренный к трубке треугольной формы нож необходим для разрезания мелких сухих корней растений и для уменьшения сопротивления, возникающего при движении трубки в песке. В результате вещество частично смешивается с песком, образуя сплошную стенку. В качестве клеящего вещества можно применять раствор глины в воде, раствор мазута (30%) или раствор дорожного битума (15%) в отработанных маслах. Ветер выдувает песок из пространства между стенками, а расстояние между ними составляет $l = 1,5\text{--}2,0$ м. Профиль выдутой котловинки AB будет близок к дуге окружности. Тогда из простейшего вспомогательного геометрического построения имеем $\gamma/2 = \alpha$, где α – угол естественного откоса сухого песка. В результате

$$\frac{h}{l} = 0,5 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

где h – глубина выдутой котловинки.

Если расстояние между стенками 1,5 м и $\alpha=32^\circ$, то глубина выдутой котловинки по данной формуле будет составлять 21 см. Таким образом, пространство между стенками выдувается до определенной глубины, величина которой зависит от угла естественного откоса барханного песка и выбранного расстояния между стенками. Так как угол естественного откоса более 33° в барханных песках наблюдается редко, то при расстоянии между стенками 2 м глубина выдувания не будет превышать 30 см. Рёбра стенок не позволяют ветру выдувать песок и защищают в дальнейшем песчаную поверхность. Расход водного раствора глины составляет 0,5 л на 1 погонный метр стенки при её толщине 0,5 и ширине 10 см.

Кроме того, можно проводить закрепление подвижных песков методом «бронирования» песчаной поверхности крупными частицами. Он основан на нанесении их на песчаную поверхность сплошным слоем или в виде полос. Сыпучие частицы не выдуваются ветром и предохраняют песчаную поверхность. При полосном закреплении песок выдувается только из межполосного пространства до глубины, определяемой формулой. Если полосы выполнены из гравия, то через некоторое время они «расползаются» за счёт того, что песок выдувается из-под гравийных частиц, лежащих на краях полосы. При дальнейшем выдувании гравийные частицы скатываются в межполосное пространство и полоса «расползается». Если для устройства полос выбрана сухая глина, то наблюдается выдувание пылеватых частиц и частиц мелкой фракции. Полосы из сухой глины необходимо опрыскивать водой с целью создания нераздуваемой корки (рисунок 4).

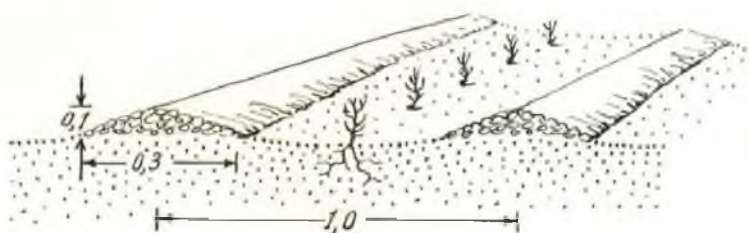


Рисунок 4 – Защита из глины в виде валиков с посадкой местной растительности

Основная задача в борьбе с опустыниванием – организация рационального природопользования. В свою очередь, для этого необходимо постоянное совершенствование знаний природных особенностей и ресурсов пустыни Каракум, методов их освоения и хозяйственного строительства, развития научно-исследовательских работ по использованию природных ресурсов с учетом задач охраны природной среды. Эоловый рельеф пустыни Каракум является фундаментом, основой ландшафтов и оказывает непосредственное влияние на его компоненты, в том числе и на почвенно-растительный покров. Поэтому нами были проведены целенаправленные полевые и камеральные исследования в связи с быстрым промышленным освоением ландшафтов эоловых равнин Туркменистана. Как правило, в любом природном регионе действует комплекс геоморфологических процессов. Тогда для определения методов защиты инженерных объектов необходимо исследовать «ведущие процессы». Их выделение основано на сравнительном анализе и на общенаучном принципе комплексности и однородности. Процессы рельефообразования неотделимы от их генезиса, поскольку они не происходят без перемещения песка и его аккумуляции. При изучении и картографировании ведущих процессов рельефообразования нельзя игнорировать дефляционные процессы, которые могут создать реальную опасность для нормального функционирования инженерных сооружений.

Осуществление приведенных научно-практических задач позволит разработать долгосрочную программу мероприятий по предотвращению процессов дефляции на различных ландшафтах Каракумов, а также выявить индикаторы опустынивания в целях раннего обнаружения и своевременного предотвращения дефляционных процессов, разработать методы регионального прогноза влияния последствий строительства крупных инженерных объектов на изменение физико-географических, экологических и социально-экономических условий территории.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Арипов Э.А., Нурьев Б.Н., Аразмурадов М. Химическая мелиорация подвижных песков. – Ашхабад: Ылым, 1983.
- [2] Бабаев А.Г. Проблемы освоения пустынь. – Ашхабад: Ылым, 1995.
- [3] Бабаев А.Г. Проблемы пустынь и опустынивания. – Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2012.
- [4] Вейсов С.К., Хамраев Г.О., Добрин А.Л. Развитие процессов техногенного опустынивания на территории Туркменистана и борьба с ними. – Алматы, 2008.
- [5] Вейсов С.К., Хамраев Г.О., Аннаева Г.Н. Методы проектирования и защиты линейных инженерных объектов в Каракумах // Проблемы освоения пустынь. – 2007. – № 3.
- [6] Вейсов С.К., Хамраев Г.О. Методы закрепления подвижных песков вдоль железной дороги «Ашхабад – Дашогуз» // Проблемы освоения пустынь. – 2004. – № 1.
- [7] Вейсов С.К., Хамраев Г. Особенности защиты инженерных объектов от дефляционных процессов в Западном Туркменистане // Проблемы освоения пустынь. – 1999. – № 6.
- [8] Вейсов С.К., Хамраев Г. Методы защиты трубопроводов от выдувания в Западном Туркменистане // Проблемы освоения пустынь. – 2004. – № 3.
- [9] Добрин Л.Г. Основные закономерности динамики бархана и их практическое значение: Автореф. дис. ... канд. наук. – Ашхабад, 1965.
- [10] Иванов А.П. Физические основы дефляции песков пустынь. – Ашхабад: Ылым, 1972.
- [11] Иванов А.П. Формирование профилей эоловых форм рельефа песчаных пустынь. – Ашхабад: Ылым, 1989.
- [12] Левадник А.Т. Инженерно-геоморфологический анализ равнинных территорий. – Кипшинев: Штинца, 1983.
- [13] Чередниченко В.П., Дарымов В.Я. Геоморфологические основы индустриального освоения песчаных пустынь Туркменистана. – Ашхабад: Ылым, 1985.

REFERENCES

- [1] Aripov E.A., Nuryev B.N., Arazmuradov M. Chemical melioration of travelling sands. Ashhabad: Ylym, 1983 (in Rus.).
- [2] Babayev A.G. Problems of deserts development. Ashkhabad: Ylym, 1995 (in Rus.).
- [3] Babayev A.G. Problems of deserts and desertification. Ashkhabad: Turkmen state publishing service, 2012 (in Rus.).
- [4] Weisov S.K., Khamrayev G.O., Dobrin A.L. Development of the processes of anthropogenic desertification on the territory of Turkmenistan and desertification control. Almaty, 2008 (in Rus.).
- [5] Weisov S.K., Khamrayev G.O., Annayeva G.N. Methods of designing and defense of linear engineering objects in Karakum // Problems of deserts development. 2007. N 4 (in Rus.).
- [6] Weisov S.K., Khamrayev G.O. Methods of fastening of travelling sands along the railway «Ashhabad – Dashogus» // Problems of deserts development. 2004. N 1 (in Rus.).
- [7] Weisov S.K., Khamrayev G.O. Specific of defense of engineering objects from deflation processes in the West Turkmenistan // Problems of deserts development. 1999. N 6 (in Rus.).
- [8] Weisov S.K., Khamrayev G.O. Methods of defense of pipelines from deflation in the West Turkmenistan // Problems of deserts development. 2004. N 3 (in Rus.).
- [9] Dobrin L.G. Main laws of sand dune dynamics and their practical value: Author's abstract of candidate of sciences dissertation. Ashhabad, 1965 (in Rus.).
- [10] Ivanov A.P. Physical bases of deflation of desert's sands. Ashhabad: Ylym, 1972 (in Rus.).
- [11] Ivanov A.P. Formation of profiles of eolian forms of relief of sandy deserts. Ashhabad: Ylym, 1989 (in Rus.).
- [12] Levadnyuk A.T. Engineering-geomorphological analysis of the flat territories. Kishinev: Shtiinca, 1983 (in Rus.).
- [13] Cherednichenko V.P., Darymov V.Ya. Geomorphological bases of industrial development of sandy deserts of Turkmenistan. Ashhabad: Ylym, 1985 (in Rus.).

С. К. Вейсов¹, Г. О. Хамраев², А. Д. Акыниязов³

¹Г. ғ. к., жетекші ғылыми қызметкер

(Жер ресурстары мен қоршаған ортаны қорғау жөніндегі мемлекеттік комитетінің шөл, өсімдіктер және жануарлар дүниесінің Ұлттық Институты, Ашхабад, Түрікменстан)

²Г. ғ. к., гидрометеорология кафедрасының меңгерушісі

(Мағтымғұл атындағы Түрікмен мемлекеттік университеті, Ашхабад, Түрікменстан)

³Экологиялық бақылау қызметі директорының орынбасары (Түрікменстанның жер ресурстары мен қоршаған ортаны қорғау жөніндегі мемлекеттік комитеті, Ашхабад, Түрікменстан)

**ЖЫЛЖЫМАЛЫ ҚАРАҚҰМ ҚҰМДАРЫН БЕКІТҮДІҢ
ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІН ЗЕРТТЕУ**

Аннотация. Мақалада Түркменстанның қоршаған ортаны қорғау және жер ресурстары жөніндегі мемлекеттік комитетінің шөл, өсімдіктер және жануарлар дүниесі Ұлттық институтының (ҒЗЖЖЖМ) құмды бекіту және өсіру зертханасында жүргізілген жылжымалы құмдарды бекітудің теориялық негіздерін зерттеудің әртүрлі бағыттары көрсетілген. Жел режимін кешенді зерттеу және эол рельефінің әртүрлі түрлерін қалыптастыру Түрікменстанда жылжымалы құмды бекіту бойынша тиімді әдістерді әзірлеуге мүмкіндік берді. Келтірілген әдістердің әрқайсысы Түркменстанның әр түрлі инженерлік нысандарында дефляциялық процестерге қарсы күресте үлкен тиімділік пен үнемділік көрсетті.

Түйін сөздер: құм, Қарақұм шөлі, эол бедері, құмды тасымалдау, шөлейттену.

S. K. Veisov¹, G. O. Khamraev², A. D. Akyniyazov³

¹Ph.D., Leading Researcher (National Institute of Deserts, Flora and Fauna of the State Committee for Environmental Protection and Land Resources, Ashgabat, Turkmenistan)

²Ph.D., Head of the Department of Hydrometeorology

(Turkmen State University named after Magtymguly, Ashgabat, Turkmenistan)

³Deputy Director of the Environmental Control Service (State Committee of Turkmenistan for Environmental Protection and Land Resources, Ashgabat, Turkmenistan)

STUDYING OF THEORETICAL BASES OF ANCHORING MOBILE SANDS OF KARAKUM

Abstract. The article shows various areas of research on the theoretical foundations of fixing moving sands carried out in the laboratory of sand fixing and afforestation of the National Institute of Deserts, Flora and Fauna of the State Committee for Environmental Protection and Land Resources of Turkmenistan (NIDFF). A comprehensive study of the wind regime and the formation of various types of eolian relief made it possible to develop effective methods for fixing moving sands in Turkmenistan. Each of the above methods showed greater efficiency and cost-effectiveness in the fight against deflation processes at various engineering sites of Turkmenistan.

Keywords: sands, Karakum desert, eolian relief, sand transport, desertification.