

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

**Katedra vodního hospodářství a environmentální
modelování (FŽP)**



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

Projekt zalesnění dna Aralského jezera

Bakalářská práce

Dana Boranbayeva

Ing. Jana Soukupová, Ph.D.

2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Projekt zalesnění dna Aralského jezera" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 5.4.2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí práce paní doktorce Janě Soukupové

Projekt zalesnění dna Aralského jezera

Souhrn

Projekt zavlažování, který začal v 50. letech minulého století za vedení sovětské vlády, ovlivnil Aralské moře navždy a z velké pravděpodobnosti na nevratný stav. Rostoucí salinita v půdě, písek a toxické látky ve vzduchu ovlivňují nejen ekologické prostředí, ale i život lidí. Jedním z řešení dané ekologické katastrofy je zalesnění suchého dna Aralského moře.

Výzkumy, které byly provedeny vědci z Kazachstánu a Uzbekistánu přinesly uspokojivé výsledky. Je důležité se při provedení výsadeb zaměřit na druhy rostlin, které jsou přirozenými halofyty a psamofyty. Příkladem mohou být: *Krascheninnikovia evermanniana*, *Salsola richteri*, *Agropyron cristatum*, *Nitraria schoberi*, *Haloxylon ammodendron* a další. Dané druhy prokázaly vysokou míru přežití a aklimatizace. Dalším parametrem je snášení sucha a vodního stresu, protože podle prognózy očekává Aralské moře v blízké budoucnosti velké sucho a nedostatek vody, což může silně ovlivnit založené porosty.

Klíčová slova: dřeviny, klima, půda, ekologická stabilita

Afforestation project of the bottom of the Aral Sea

Summary

The irrigation project, which began in the 1950s under Soviet leadership, has affected the Aral Sea forever and, in all likelihood, to an irreversible state. Increasing salinity in the soil, sand and toxic substances in the air affect not only the ecological environment but also the lives of people. One of the solutions to this ecological disaster is to reforest the dry bottom of the Aral Sea.

Researches that have been carried out by scientists from Kazakhstan and Uzbekistan have produced satisfactory results. It is important to focus on plant species that are natural halophytes and psamophytes when carrying out plantings. Examples include *Krascheninnikovia ewersmanniana*, *Salsola richteri*, *Agropyron cristatum*, *Nitraria schoberi*, *Haloxylon ammodendron* and others. The species in question have shown high survival and acclimatization rates. Another parameter is the tolerance to drought and water stress, as the Aral Sea is predicted to experience severe drought and water scarcity in the near future, which may severely affect established stands.

Keywords: tree species, climate, soil, ecological stability

Obsah

1. Úvod	8
2. Cíl práce	9
3. Změna Aralského moře v průběhu času	10
3.1 Geologie a klima	11-12
3.2 Aralské moře po roce 1960	12-14
4. Zalesnění dna Aralského moře	
4.1 Důvody zalesnění suchého dna Aralského moře	15
4.2 Vhodné druhy pro zalesnění suchého dna Aralského moře	15-24
4.3 Nadějný druh – <i>Haloxylon ammodendron</i>	24-26
4.4 Metody vytvoření ploch pro výsadbu	26-28
4.5 Vytvoření ploch pomocí nadačních fondů	28-33
5. Ohrožující faktory	
5.1 Vodní stres	34-35
5.2 Riziko sucha	36
6. Diskuse	37
7. Závěr	38
8. Literární zdroje	39-46

1. Úvod

Téma Aralského jezera je velkou součástí historie republiky Kazachstán. O tomto jezeře ví každý obyvatel této země. Do 60. let minulého století bylo Aralské jezero čtvrtým největším jezerem po Kaspickém moři, Hořejším jezeře v Severní Americe a Viktoriiným jezeře v Africe. Díky své velké rozloze je Aralské jezero nazýváno Aralským mořem.

Velký projekt zavlažování, který byl zahájen v 50. letech minulého století pod vedením sovětské vlády, ovlivnil Aralské moře natolik, že jeho důsledky jsou viditelné do současné doby. Rozloha Aralského moře se každým rokem prudce zmenšovala a salinita se naopak natolik zvýšila, že původní druhy ryb obývající Aralské moře začaly mizet a tím poklesl i známý rybolovný průmysl Aralského regionu. Vysoká salinita a pesticidy ve vzduchu ovlivňují zdraví lidí obývajících danou oblast natolik, že ukazatel onemocnění dýchací soustavy lidí z daného regionu překračuje celostátní průměr.

Proto projekty zalesnění suchého dna Aralského moře, které jsou zahájeny na teritoriu Kazachstánu a Uzbekistánu, jsou velmi důležité. Vytvoření porostu z druhů, které jsou halofytní a přirozenými obyvateli suchých oblastí, může mít velký pozitivní vliv na životní prostředí a na život místních obyvatel.

Je pro mě velkou příležitostí spojit dvě témata, která jsou pro mě důležitá, do jedné bakalářské práce.

2. Cíl práce

Cílem práce bylo popsat kroky vedoucí k zajištění ekologické stability lokality Aralského jezera. Nejdříve uvést historii vzniku Aralského jezera a jeho ekologický stav v současné době. Stěžejní částí bylo popsání projektů zalesnění dna Aralského jezera v republice Karakalpakstán v Uzbekistánu. Důležité bylo popsat, jak zalesnění bylo prováděno a jak reagovaly pozorované druhy na zvýšení salinity. Vysvětlit ovlivnění popsáných druhů na životní prostředí a zjistit, jestli takové projekty budou mít dobrý důsledek v budoucnosti.

3. Změna Aralského moře v průběhu času

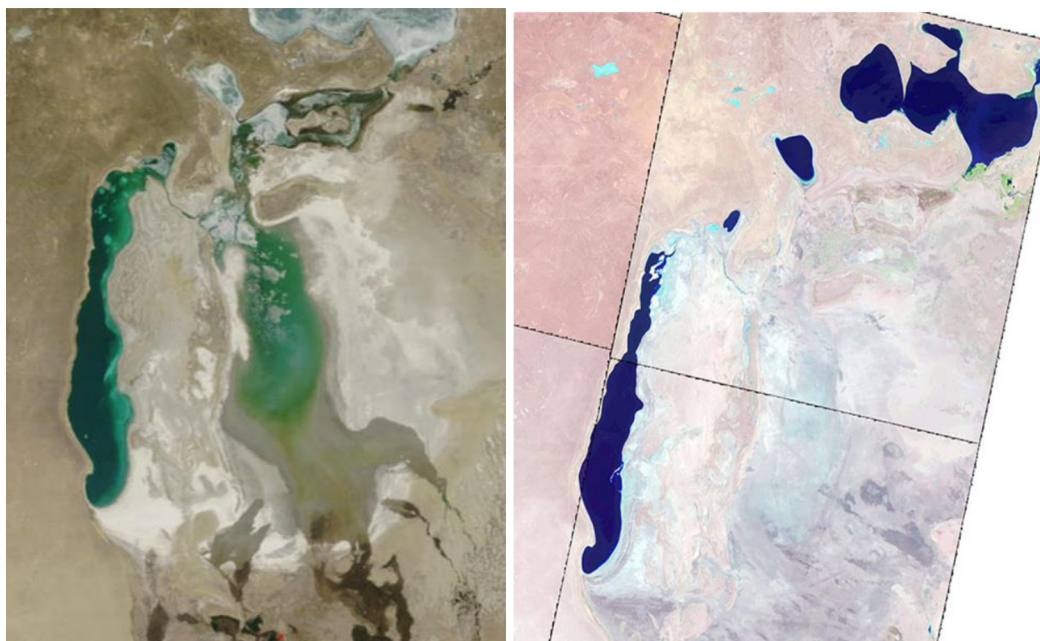
Aralské moře leží uprostřed velké poušti Střední Asie. Kazachstán a Uzbekistán rozdělují skoro stejnou délku pobřeží. Celá pobřežní linie Aralského moře v Uzbekistánu se nachází v republice Karakalpakstán, který je autonomní republikou na území Uzbekistánu (Micklin, 2007).

Satelitní snímky Aralského moře ukazují na jeho dramatický pokles a formování nové velké poušti Aralkum na jeho východní části.



1973

1999



Březen 2011

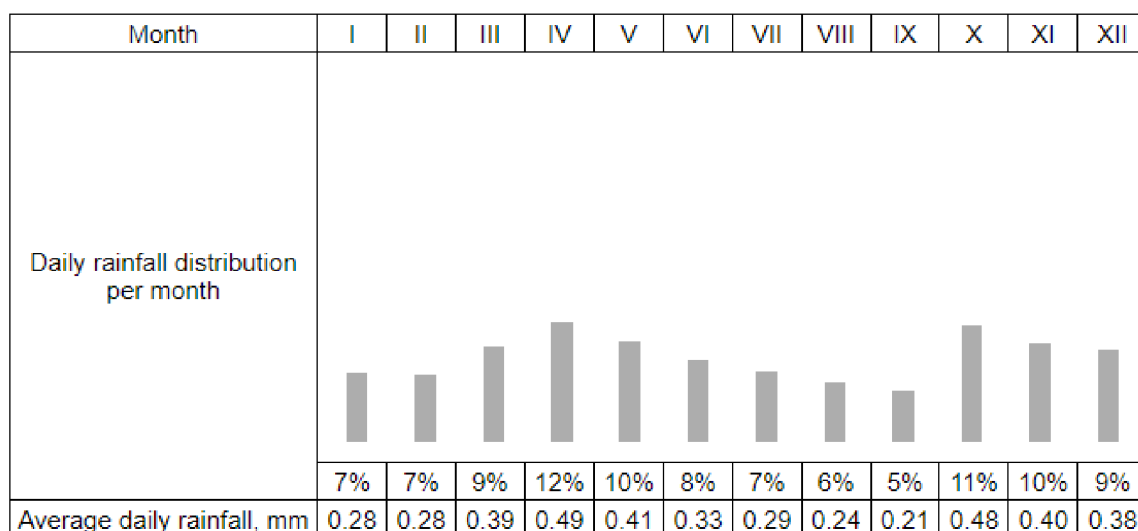
Srpen 2022

Obr.1. Změna Aralského moře na satelitních snímkách (www.cawater-info.net).

3.1 Geologie a klima

V neogénu na teritorii střední Asie v centru Turanské roviny, byly zformovány tři hluboké prohlubně – Chorezmská, Sarykamyšská a Aralská. V ranním a středním pleistocénu předchůdce Amudarya – Praamudarya tekla přes centrální část Karakumu (poušť) na západ a vtékala do Kaspického moře. V pozdním pleistocénu Amudarya změnila proud směrem na sever a zavodnila Aralo-Sarykamyšskou nížinu, což vedlo k vzniku původního Aralského moře 70 tis. let zpátky. Přes hlubokou průrvu v okolí Tuyamuyana Amudarya dosahla Chorezmské prohlubně, kde se zformovala velké jezero. 10-12 tis. let zpátky se Amudarya otočila na západ a změnila Sarykamyšskou prohlubeň v jezero. Zhruba před 4 tis. let Amudarya znovu změnila svůj proud směrem na sever k obrovské Aralské prohlubni, kam ve stejné době už vtékala Syrdarya. Západní část terénu byla ohraničena činky (srázné, těžko přístupné útesy) Ustjurtkské plošiny, severní část – Priaraalskou vyvýšeninou, na východě – pouští Betpak-Dala a pohořím Karatau, jižní část – poušti Karakum a Kyzylkum. Popsané území reprezentuje Aralské moře, které znalo lidstvo od 18 až do začátku 20. století. Absolutní věk Aralského moře je 139+-12 tis.let, z geologického hlediska je považované za mladé (UNESCO, 2020).

Klima dané oblasti je kontinentální a suché. Pro severní části regionu je charakteristické kontinentální klima, pro jižní je to subtropické. Průměrná roční teplota je 33-36°C. Léto je horké a dlouhé, průměrná teplota v červenci je 26-33°C. V severních pouštích je průměrná teplota v lednu -10...15 °C, v jižní části na některých místech stoupá do vyšších teplot (0 °C). Roční úhrn srážek je 20-120 mm (Ashirbekov, Zonn, 2003).



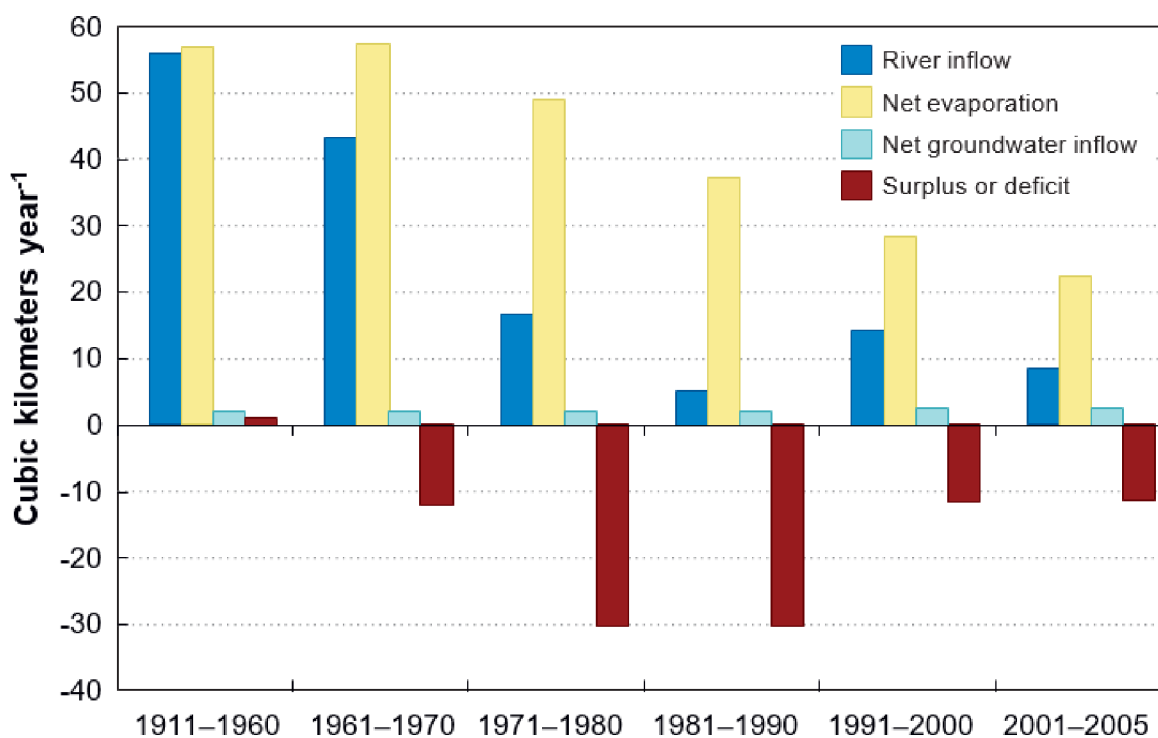
Graf 1. Měsíční úhrn srážek (<http://thermo.karelia.ru/eng/>)

Month	Minimum temperature	Average monthly temperature	Maximum temperature
I	-37.9°C	-12.1°C	+6.3°C
II	-37.2°C	-11.3°C	+11.8°C
III	-36.1°C	-3.3°C	+29.0°C
IV	-12.2°C	+9.5°C	+32.8°C
V	-2.2°C	+18.0°C	+39.9°C
VI	+3.6°C	+24.1°C	+46.9°C
VII	+10.5°C	+26.6°C	+44.8°C
VIII	+5.4°C	+24.3°C	+43.7°C
IX	-4.3°C	+17.2°C	+37.2°C
X	-15.7°C	+7.8°C	+31.5°C
XI	-28.9°C	-1.0°C	+20.5°C
XII	-34.8°C	-8.2°C	+10.3°C

Tab.1. Průměrná teplota (<http://thermo.karelia.ru/eng/>)

3.2 Aralské moře po roce 1960

S rozlohou mírně přesahující 67 000 km² bylo Aralské moře čtvrtým největším vnitrozemským vodním útvarem na světě. Od 18 století do roku 1960 bylo kolísání hladiny Aralského moře menší než 4,5 m. Na grafu 2 je vidět, že vodní bilance byla dlouhodobě stabilní. Střední hodnota ročního přítoku a čistého výparu byla kolem 56 km³, s čistým výparem na vodním povrchu 66 km³ minus srážky dopadající na hladinu moře kolem 9 km³ (Micklin, 1991).



Graf 2. Průměrná roční vodní bilance Aralského moře (1911-2005) (Micklin, 2007).

Se střední salinitou 10 g/l bylo Aralské moře příjemným prostředím pro sladkovodní druhy ryb. Proto byl daný region důležitým místem pro rybolov a klíčovým pro dopravu. Dělty řek Amudarya a Syrdarya sloužily k zavlažovacímu zemědělství, k chovu a lovu, sběru rákosu, který sloužil jako krmivo pro dobytek a stavební materiál (Micklin, 2007).

Od roku 1960 se začalo Aralské moře bez přerušení zmenšovat a zasolovat. Příčinou byl obrovský zavlažovací projekt, který zahájila Sovětská vláda v 50. letech. Cílem bylo dosáhnout bavlnové nezávislosti pro SSSR a pro lidové demokratické republiky. Pro pěstování bavlny bylo potřeba zabezpečit co nejvíce vody, hnojiva a pesticidů. Začalo tak stavění velkých nádrží a zavlažovacích kanálů, které vedly do pouště. Celý tok řek Amudarya a Syrdarya, které naplňovaly Aralské moře byl odkloněn a rozebrán na části (<https://youtu.be/ULIxHUaFdx0>).

Přestože zavlažování v povodí Aralského moře bylo prováděno již po tisíciletí, nikdy nedocházelo k velkému snížení přítoku vody, protože ztráty vody byly kompenzovány snížením přirozeného výparu, transpirací z freatofytů, jako je tamaryšek, vrba a topol (Micklin, 2000). Každopádně růst aktivity zavlažování z 5 milionů na 7,9 milionů ha mezi roky 1965 a 2000 výrazně snížil odtok vody do moře a kompenzační faktory byly přetíženy výstavbou zavlažovacích kanálů do poušti (Micklin, 2007). To vedlo k tomu, že se mnohem větší podíl vody odebraný z řek Amudarya a Syrdarya ztratil výparem místo toho, aby se do těchto řek vrátil (Micklin, 1996).

Zmenšení říčního přítoku znamenalo fatální změny po roce 1960. V 60. letech 20 století hodnota odtoku do moře sestavovala $43 \text{ km}^3 \text{ ročně}^{-1}$, s čistým přítokem podzemní vody $2,5 \text{ km}^3 \text{ ročně}^{-1}$, kde hodnota čistého výparu byla $57 \text{ km}^3 \text{ ročně}^{-1}$, což nám dává deficit $12 \text{ km}^3 \text{ ročně}^{-1}$. V 70. a 80. letech 20 století deficit vodní bilance přesáhl $30 \text{ km}^3 \text{ ročně}^{-1}$. V roce 1974-1986 byl přítok Syrdaryy do Aralského moře nulový. V roce 1982-1983, 1985-1986 a v roce 1989 Amudarya poskytovala minimální nebo žádný přítok (Agrawala a kol. 2001).

V 90 letech se situace zřetelně zlepšila díky většímu množství srážek a snížení odběru vody pro zavlažování. V roce 1995 vodní deficit sestavoval $12 \text{ km}^3 \text{ ročně}^{-1}$. V letech 2001-2005 přítok se rovnal $9 \text{ km}^3 \text{ ročně}^{-1}$, s čistým přítokem podzemní vody $2,5 \text{ km}^3 \text{ ročně}^{-1}$ a čistým výparem 22 km^3 . To nám dává deficit 11 km^3 (Micklin, 2007).

V roce 1989 Aralské moře přestalo existovat jako jediný vodní útvar a rozdělilo se na Severní (Malý Aral) napájený od toku Syrdaryy a Jižní (Velký Aral), který byl zásobován tokem Amudaryy. Mezi sebou dvě vodní plochy byly spojeny průlivem Berga. Malý Aral nebo taky severní/kazašský se nachází na území Kazachstánu v Kyzylordinské oblasti. Jižní Aral (Velký) rozsáhlá část, kterého se nachází v republice Karakalpakstán v Uzbekistánu. V roce 2006 se Velké Aralské jezero rozdělilo na dvě nádrže – západní a východní. V důsledku kdysi velikého Aralského moře vznikly tři vodní

útvary – Západní moře s rozlohou 3,38 tis. km², Východní malé – 1,71 tis. km² a Malý Aral s rozlohou 3,1 tis km² (Duchovniy, Shutter, 2003).

V roce 2005 vláda Kazachstánu ve spolupráci se Světovou bankou ukončili projekt překrytí průlivu Berga Kokaralskou hrází, aby veškerý průtok Syrdaryy naplňoval jen Malý Aral. Cílem bylo zahrnit alespoň jeden vodní útvar. Nyní plocha Malého Aralu činí 3,3 tic.km² a situace se pomalu zlepšuje. V roce 2005 se salinita Malého Aralu vrátila do původních 6-10 ppm a zase se objevila místa výskytu ryb. Do svého původního stanoviště se vrátili: kapr, candát, plotice, cejn a další druhy. Toto vedlo ke znovuzahájení profesionálního rybolovu. Místní obyvatelé dostali přístup k elektřině, plynu a vodovodu. Roční ulov činí 7 tis. tun, což je ve srovnání 30 tun platýse vyloveného v roce 1996 je kolosální rozdíl (Tairov, 2018). Situace Západního a Východního Aralu je značně horší. Dvě vodní nádrže jsou silně zasolené s mineralizací od 130 do 350 g/l (tab.2) (UNESCO, 2020).

Rok	Salinita, g/l	
	Zapadní povodí	Vychodní povodí
1960	10	10
1970	12	12
1980	17	17
1990	32	32
1992	35	35
1995	42	42
1996	44	44
1997	51	52
1998	54	58
1999	56	-
2000	63	-
2001	68	112
2002	82	160
2003	86	-
2004	92	-
2005	98	130

Tab. 2. Dynamika změny salinity ve východní a západní části Velkého Aralského moře (UNESCO, 2020)

4. Zalesnění dna Aralského jezera

4.1 Důvody zalesnění suchého dna Aralského moře

Kdysi veliké Aralské moře už se nikdy nevrátí do svého původního stavu, ale je potřeba zlepšit podmínky prostředí pro lidi z daného regionu a v jeho okolí. Republika Karakalpakstán v Uzbekistánu, část Kyzylordinské oblasti v Kazachstánu a oblast Dašauz v Turkmenistánu, utrpěly největší škody (Micklin, 2007).

Rybolovní průmysl, který hrál velkou roli v ekonomice Kazachstánu a Uzbekistánu, skončil v 80 letech 20.století, kdy kvůli rostoucí salinitě vymizely původní druhy ryb. Důsledkem bylo, že o práci přišly desítky tisíc lidí (Zholdasova, 1997).

Do roku 1960 se v deltě řek Amudarya a Syrdarya vyskytovalo 70 druhů savců a 319 druhů ptáků. V současné době toto zastoupení kleslo na 32 druhů savců a 160 druhů ptáků. Dříve v mokřadech Amudaryy bylo pozorováno 282 druhů ptáků, ze kterých v současné době 30 druhů vymizelo a přibližně 88 druhů jsou uvedeny jako vzácné (UNESCO, 2020).

Toto má obrovský negativní vliv i na lidské zdraví v daném regionu. Na každém metru čtverečním suchého dna moře, obsahuje metr hluboká vrstva 100-300 kg soli, v solných mokřadech hodnota dosahuje 500 kg. Každý rok do atmosférické vrstvy vznáší 70-95 mil. tun prachu, písku a jedovatých látek. Z obnaženého dna už bylo vyvětráno přes 1 mld. toxického prachu (Ashirbekov, 2013). Kolem 300 dnů v roce v regionu foukají písečné bouře a sůl. To vede k exacerbaci chronických dýchacích onemocnění, obzvláště orgánu dýchací soustavy: chronická bronchitida, bronchiální astma, tuberkulóza a také vznik specifických a nespecifických onemocnění. Každoroční analýza onemocnění bronchiálním astmatem ukazuje, že v Chorezemske oblasti ukazatel třikrát překračuje celostátní průměr. V Karakalpakstánu hodnota dvakrát přesahuje celostátní průměr (Faizulayeva, 2013).

Do velké míry se dá zlepšit dopady ekologické katastrofy pomocí zalesnění suchého dna Aralského moře. Plocha s vhodnou půdou pro zalesnění představuje 60 % z celkové rozlohy suchého dna. Pro dosažení daných cílů je důležité vybrat určité druhy pouštních rostlin, protože půda Aralského regionu představuje různé typy dnových sedimentů – od lehké půdy po těžkou, s nízkou salinitou až po slané močály. Dané rostliny by se musely stát hlavním regulátorem klimatu Aralského regionu (Novitsky, Ustemirov, 2015).

4.2 Vhodné druhy pro zalesnění suchého dna Aralského moře

Výzkum, který byl zahájen pod vedením akademika Novitského v letech 1985-2010, byl prováděn na suchém obnaženém dně Aralského moře, na kterém byly

vysazeny sazenice ze školky ve městě Muynak v Karakalpakstánu. Sazenice byly vysazeny pomocí lesnického stroje a na hrbolatých píscích a barchanech byla výsadba prováděna ručně pomocí jamkovače. Pro lesní výsadbu byly použité metody, které byly již dříve aplikované v pouštních místnostech. Dno Aralského moře se liší od poušti hlavně zasolením půdy a složitostí profilu. Jejich společným znakem je suché klima. Půda suchého dna je chudá, skoro bez žádné humusové vrstvy a není homogenní. Granulometrická analýza ukázala, že jsou tři kategorie půdy, které sloužily pro výzkum:

1. Půda, kterou lze začít upravovat jen po předběžném ošetření zemědělského nářadí
2. Půda, kterou lze začít upravovat jen po předběžné fixaci reliéfu
3. Půda, která není vhodná pro lesní výsadbu

(Novitsky a kol. 1991).

Po šetření chemické a granulometrické soustavy půdy byla prováděna meliorační práce s použitím následujících druhů rostlin: *Haloxylon ammodendron*, *Salsola richteri*, *Halostachys*, *Halocnemum*, *Tamarix karelinii*, *Nitraria*, *Calligonum caput-medusae*. Lesní výsadby hrají důležitou roli ve zmenšení vzniku procesu deflace. V jednoletých výsadbách druhu *Haloxylon ammodendron* a *Salsola richteri* se rychlost větru snižuje o 20,5 %, ve dvouletých na 34,6 % a v pětiletých o 87,4 %. Pod korunami 4-5letých lesních plantáží vzniká náletem z mateřského porostu travní porost s počtem 3-4 kusů na m². To vede k prudkému poklesu rychlosti větru a následnému zastavení deflace půdy. Při dosažení věku sedmi let, klesá rychlost větru na hodnotu 0 (Bakirov, 2020). Schopnosti jednotlivých druhů rostlin akumulovat písek záleží na jejich struktuře. Sedmiletý keř *Haloxylon ammodendron* s výškou 265 cm a průměrem koruny 320 cm akumuluje kolem sebe 10,61 m³. *Salsola richteri* ve stejném věku s dosažením výšky 220 cm, při průměru koruny 260 cm, kolem sebe hromadí 5,6 m³ písku. *Calligonum caput-medusae* s výškou 110 cm a průměrem koruny 210 cm, akumuluje 6,9 m³ (Novitskiy, 2015). Avšak vegetace nesnižuje rychlost větru jen kolem povrchu půdy, ale i její kořenový systém zvyšuje odolnost proti škodlivým účinkům větru. Při pokusu bylo zjištěno, že rostliny stabilizují povrch písku, zabraňují mu opadem a spojují částice písku humusem. Konzervační schopnost závisí od akumulační způsobilosti rostliny a taky od množství opadu, který se shromažďuje u povrchu půdy. Podle zmíněných schopností jde přednostně o druh *Haloxylon ammodendron* (Novitskiy a kol. 2022).

Snížení větrné eroze soli, prachu a písku vede k ekologickému ozdravování dané oblasti. V průběhu 100 hodin při rychlosti větru od 2 do 5 m/s duna odnáší 226,5 g/m² písku, při 6-10 m/s hodnota zvyšuje na 293,7 g/m² a při rychlosti větru od 11 do 16 m/s odnáší 325,8 g/m² písku. Dané hodnoty se snižují 3-6krát u devítiletých porostů. Pokud

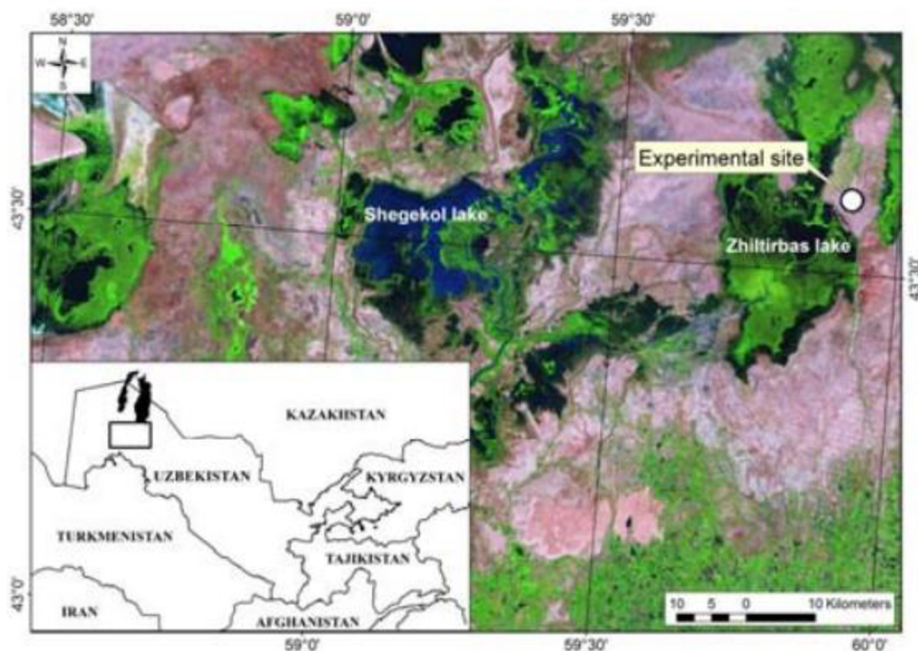
se zaměříme na chemickou analýzu přenášeného písku, tak při rychlosti větru 11-16 m/s z duny, fixovanou jednoletou výsadbou, plocha o výměře 1 m² bude obsahovat 0,22 g Cl, 0,87 g S, 0,26 g Ca, 0,17 Mg, 0,01 g Na. Písek vynášený ze středu lesního porostu, obsahuje výrazně menší zastoupení chemických prvků: 0,08 g Cl, 0,33 g S, 0,09 g Ca, 0,06 Mg, 0,005 g Na. Je vidět, že lesní výsadby neplní jen funkci fixace pohyblivých písků, ale také zabraňují odnosu škodlivých látek. Prováděný experiment ukázal, že nejvíce pískových částic se hromadí pod korunami *Calligonum caput-medusae* (tab.3) (Bakirov, 2020).

Rostlina	Věk	Velikost, cm		Počet kusů na 1 ha	Rozměr keřového hrbolku, cm		Počet soli, kg	
		Výška	Průměr		Výška	Průměr	Pod korunou 1 rostliny	na 1 ha
<i>Haloxylon ammodendron</i>	22-23	275±6,5	530±11,7	400	60±1,2	500±13,6	33,4	133360
<i>Salsola Richteri</i>	22-23	245±4,2	245±4,2	400	50±1,4	400±5,6	17,8	7120
<i>Halostachys</i>	8-9	85±2,1	155±4,5	500	30±0,9	150±3,2	2,2	1100
<i>Halocnemum</i>	8-9	25±1,1	110±4,1	3956	35±0,7	111±2,8	2,8	11076,8
<i>Tamarix karelinii</i>	8-9	240±3,7	430±4,3	500	120±2,1	400±11,4	63,72	31860
<i>Nitraria</i>	8-9	230±7,6	170±5,3	500	60	150±4,6	3,0±1,1	1500
<i>Calligonum caput-meduase</i>	20-21	255±8,6	820±13,7	100	130	800±17,6	277,8±10,1	27780

Tab.3 Akumulace soli melioračními rostlinami na suchém dně Aralského moře (Bakirov a kol. 2020)

Jiný výzkum, který byl prováděn kolektivem vědců z Uzbekistánu, byl zaměřen na testování rezistence domorodých pícnin z různých biomorfů v podmínkách se zvýšenou koncentrací soli v půdě. Jejich pokusy byly zaměřené na objevení nejodolnějších druhů pro upevnění písku z dun. Výzkum byl prováděn ve dvou

etapách. Během první etapy se zkoušela odolnost vůči soli, podle které byly vybrány nejrezistentnější druhy. V průběhu druhé etapy byly vybrané sazenice přesazeny na pokusné místo, které se nacházelo východně od vesnice Kazakhdarya, na dně bývalého zálivu Zhiltirbas v Aralském moři, v oblasti Muynak v republice Karakalpakstán (obr.1) (Shomurodov a kol. 2013).

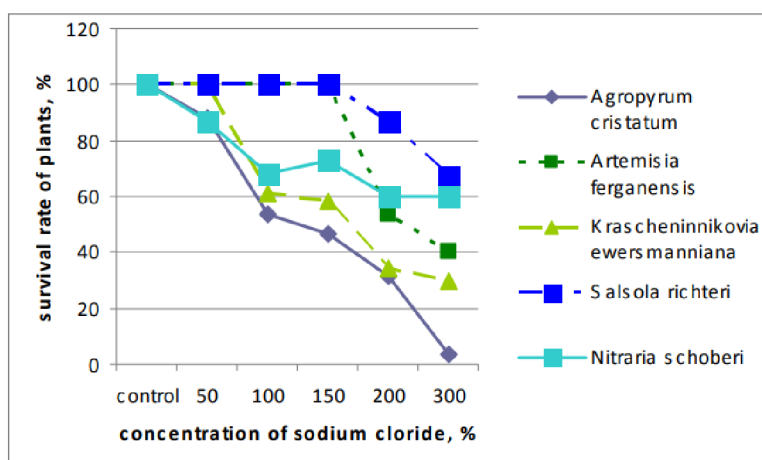


Obr.2. Výzkumná plocha v oblasti Muynak, republika Karakalpakstán (Shomurodov a kol. 2013)

Pro výzkum byly vybrány rozšířené druhy rostlin, které se vyskytují v poušti Střední Asie. Konkrétně jde o druhy: *Nitraria schoberi*, *Salsola richteri*, *Krascheninnikovia eversmanniana*, *Artemisia ferganensis*, *Agropyron cristatum*, *Astragalus paucijugus*, *A. turbinatus*, *A. villosissimus*, *A. unifoliolatus*, *Smirnowia turkeстана*, *Lycium rutenicum*, a několik druhů rodu *Calligonum*: *C. leucocladum*, *C. setosum* and *C. caput-medusae*. Dané druhy byly vysazeny do pětilitrových kontejnerů v prostředí daném skleníkovými podmínkami. Jejich růst a vývoj byl porovnán s kontrolními druhy, které byly vysazeny ve stejném skleníku. Experimentální druhy byly zalívány fyziologickým roztokem s koncentrací chloridu sodného a to 50, 100, 150, 200 a 300 mmol dvakrát týdně. Kontrolní druhy byly zalívány čerstvou vodou. Po třech letech bylo vybráno pět druhů, které byly ve skleníkových podmínkách a prokázala se jejich odolnost vůči soli. Těmito druhy jsou: *Nitraria schoberi*, *Salsola richteri*, *Krascheninnikovia eversmanniana*, *Artemisia ferganensis* a *Calligonum caput-medusae*. V prosinci a v lednu byly dané druhy vysety do pětilitrových kontejnerů a na začátku dubna byly sazenice přesazeny na pokusné místo (Bakirov, 2020).

Agropyron cristatum

V průběhu experimentu se ukázalo, že druh *Agropyron cristatum* může vykazat dobrou vegetaci s koncentrací NaCl až do výše 150 m a projít všemi fázemi ontogeneze. Hraniční hodnota pro daný druh je 300 mmol, kde hodnota míry přežití klesá pod 3,3 %. Při koncentraci NaCl 100 mmol byla výška rostlin skoro stejná s kontrolními druhy, ale mortalita mladých jedinců dosáhla až 46,6 %. Snížení růstu bylo pozorováno při koncentraci 150-200 mmol, kde výška jedinců byla níže 18,1-11,6 cm. Mortalita při koncentraci NaCl 150 mmol dosáhla 53,3 % a při koncentraci 200 mm 68,3 % (graf 3) (Shomurodov a kol. 2013).



Graf 3. Míra přežití pozorovaných druhů při různé koncentraci chloridu sodného (Shomurodov a kol. 2013)

Artemisia ferganensis

Artemisia ferganensis je endemickým keřem Střední Asie. Daný druh je přizpůsoben k různým půdním podmínkám, včetně zasolených půd, kde roste jako halofyt. Na malých zasolených místech se vyskytuje s *Camphorosma monspeliaca*, *Salsola orientalis*, *Kalidium caspicum*, *Climacoptera intricata*, *C. longistylosa*, *Suaeda arcuata* a *Halocharis hispida*. Občas převažuje na hlíněných půdách v nízkých horách (Kapustina a kol. 2001)

U daného druhu byla sledována změna hlavního výhonku, který by při normálních podmínkách dosahoval výšky 55 cm. Při koncentraci chloridu sodného od 50 do 150 mmol výška jeho nadzemní části byla 29,3; 26 a 24,2 cm. Při koncentraci 200 mm chloridu sodného výška klesla do 9 cm. Korelace byla zpozorována i mezi koncentrací soli a tvorbou pupenů. Čím vyšší byla koncentrace chloridu sodného, tím méně bylo vytvořeno pupenů. Při koncentraci 300 mmol nebyly zaznamenány žádné pupeny. Je důležité zmínit i to, že při nízké koncentraci NaCl (do 150 mmol) nebyli zaregistrováni

žádní mrtví jedinci. Při koncentraci 200 mmol mortalita dosáhla 46,6 % a při 300 mmol, 60 % (Shomurodov a kol. 2013).

Krascheninnikovia ewersmanniana

Druh *Krascheninnikovia ewersmanniana* (obr.3) ukázal vysokou míru odolnosti při koncentraci do 200 mmol. Ve variantách s 50-100 mmol soli dosahovala výška rostlin 22,7-15,8 cm. Avšak s rostoucí hodnotou výška výhonku klesla na 6,7 cm (200-300 mm) a míra přežití spadla na 30 % (graf 3) (Shomurodov a kol. 2013)



Obr.3. *Krascheninnikovia ewersmanniana*
(<https://www.gbif.org/occurrence/4046507146>)

Salsola richteri

Halofytní druhy rodu *Salsola* jsou známé díky své toleranci vůči soli a suchu. Díky těmto vlastnostem jsou vhodnými pro pěstování v aridních a semi-aridních regionech. Během porovnání změny růstu a metabolických procesů při změně salinity mezi různými druhy rodu *Salsola* (*S.richteri*, *S.orientalis*, *S.dendroides*), *S.richteri* byl schopný produkovat nejvíce bylinné hmoty ve srovnání s ostatními druhy (Heidari-Sharifabad, Mirzaie-Nodoushan, 2006). Daný druh je přizpůsobený k podmínkám písčiny pouští Karakuma a Kyzylkuma a je endemitem písčiny pouští Střední Asie. *S.richteri* je považován za typický psamofyt, který je dobře aklimatizovaný na písčiny stanoviště. Jeho kořenový systém proniká do hloubky 3 m a xeromorfická stavba dané rostliny zabezpečuje šetrnou spotřebu vlhkosti. Při zasypaní pískem kmenové části je schopný vytvořit adventivní kořeny, které zlepšují zásobování vody. Vyznačuje se rychlým

růstem, za jedno vegetační období jeho výška může dosáhnout až 2 m. Pro daný druh je důležité obsadit plochu s hutným, mírně ukotveným písčitém substrátem, zejména na úpatí barchanu, protože špatně snáší expozice kořenů při zvětrání písku (<https://www.plantarium.ru/page/view/item/33413.html>).

Nejmenší rozdíl v růstu a vývoji při různých variantách salinity byl zaznamenán u *Salsola richteri*. Vysokých hodnot daný druh dosáhl při koncentraci soli 100 a 150 mmol, kde střední výška pokusných druhů (45,5-51,0 cm) a kontrolních druhů (52,6 cm) byla skoro stejná. Je pozoruhodné, že životnost daného druhu se dostala do 66,7 %, a to při nejvyšší koncentraci soli v daném pokusu (300 mmol) (Shomurodov a kol. 2013).



Obr.4. *Salsola richteri*

(<https://www.plantarium.ru/lang/en/page/image/id/110244.html>)

Calligonum caput-medusae

Calligonum caput-medusae taky považován za jednu z nejvhodnějších rostlin pro prostředí písečných pouští (obr.5). Je to psamofytní a xerofytní rostlina, která je užitečná pro vytvoření dlouhodobých pastvin v pouštním prostředí (https://uses.plantnet-project.org/en/Calligonum_caput-medusae). Výzkum, který byl prováděn Akademií věd Číny ukázal, že maximální růstový potenciál u daného druhu nastává v podmínkách se salinitou 50 mmol. Poměr výhonku a kořenu se zastoupením NaCl při koncentraci >100 mmol je nižší ve srovnání s kontrolními druhy. Zvýšení úrovně salinity vedlo k progresivnímu snížení rychlosti transpirace, rychlosti čisté fotosyntézy a stomatální vodivosti ve srovnání s kontrolními druhy (Y. LU a kol. 2017).



Obr.5. *Calligonum caput-medusae*

(<https://www.plantarium.ru/lang/en/page/image/id/439593.html>)

Parameter	NaCl concentration [mM]				
	0	50	100	200	400
Plant shoot height [cm]	63.8 ± 3.51 ^d	71.5 ± 2.65 ^c	54.8 ± 2.51 ^c	42.3 ± 3.30 ^b	35.5 ± 3.11 ^a
Crown area [cm ² per plant]	962 ± 85.6 ^c	1522 ± 99.3 ^d	339 ± 12.2 ^b	151 ± 6.6 ^a	90 ± 4.5 ^a
Basal diameter [mm]	3.75 ± 0.279 ^d	5.13 ± 0.209 ^c	3.33 ± 0.133 ^c	2.63 ± 0.171 ^b	2.23 ± 0.199 ^a
First branch number per plant	17.5 ± 1.29 ^d	26.0 ± 1.83 ^c	11.5 ± 1.25 ^c	8.3 ± 0.96 ^b	6.0 ± 0.82 ^a
Assimilating branch length [cm]	30.5 ± 1.73 ^d	35.5 ± 2.08 ^c	20.3 ± 1.63 ^c	14.8 ± 1.26 ^b	9.4 ± 1.29 ^a
Assimilating branch diameter [mm]	1.42 ± 0.043 ^d	1.61 ± 0.053 ^c	1.26 ± 0.048 ^c	1.16 ± 0.056 ^b	0.91 ± 0.042 ^a
Assimilating branch fresh mass [g per plant]	6.02 ± 0.478 ^d	10.03 ± 0.784 ^c	4.95 ± 0.396 ^c	2.88 ± 0.174 ^b	1.80 ± 0.210 ^a
Stem fresh mass [g per plant]	4.36 ± 0.306 ^c	7.02 ± 0.507 ^d	2.11 ± 0.212 ^b	1.48 ± 0.167 ^a	1.14 ± 0.112 ^a
Root fresh mass [g per plant]	5.92 ± 0.246 ^d	10.32 ± 0.665 ^c	5.31 ± 0.317 ^c	3.51 ± 0.373 ^b	2.53 ± 0.201 ^a
Assimilating branch dry mass [g per plant]	1.42 ± 0.141 ^c	2.79 ± 0.264 ^d	1.13 ± 0.128 ^b	0.57 ± 0.042 ^a	0.37 ± 0.052 ^a
Stem dry mass [g per plant]	1.93 ± 0.179 ^c	3.97 ± 0.242 ^d	1.04 ± 0.105 ^b	0.80 ± 0.048 ^a	0.71 ± 0.041 ^a
Root dry mass [g per plant]	2.85 ± 0.225 ^c	5.48 ± 0.499 ^d	2.60 ± 0.218 ^{bc}	2.20 ± 0.139 ^b	1.32 ± 0.047 ^a
Fresh shoot/root ratio	1.75 ± 0.059 ^a	1.65 ± 0.036 ^a	1.33 ± 0.052 ^b	1.25 ± 0.046 ^c	1.16 ± 0.049 ^d
Dry shoot/root ratio	1.18 ± 0.048 ^a	1.23 ± 0.022 ^a	0.83 ± 0.023 ^b	0.63 ± 0.034 ^c	0.81 ± 0.039 ^b

Tab. 4. Effect NaCl na růst druhu *Calligonum caput-medusae* (Y. LU a kol. 2017).

Nitraria schoberi

Zajímavé výsledky byly zaznamenány u druhu *Nitraria schoberi*. Při nízké koncentraci soli 50-100 mmol, daný druh dosáhl výšky (29-38 cm). Tato výška byla skoro dvakrát vyšší než u kontrolních druhů (20,0 cm). Takové snížení tempa růstu u kontrolních druhů může být vysvětleno tím, že *Nitraria schoberi* je výrazným halofytním druhem a ukázalo se, že substrát zalitý sladkou vodou bude hrát roli v rámci nepříznivého

faktoru (Khamzina a kol. 2006). Při hodnotě chloridu sodného 150 mmol hlavní výhonek dosáhl výšky 26,7 cm, při 200 mmol – 24,6 cm a při 300 mmol – 17,0 cm. Při vysoké koncentraci soli (200 mmol a 300 mmol) míra aklimatizace představuje 86,6 %, což naznačuje slibné vyhlídky pro daný druh při fytomelioraci suchého zasoleného dna Aralského moře (graf .3) (Mojiri, Jalalian, 2011).

Při terénním pokusu byly výhonky pěstovány v řádcích. Vysoké rostliny byly vysazeny v první řadě na duně, perpendikulárně směru větru, po nich následovaly polokeře. Výhonky *Krascheninnikovia eversmanniana* a *Artemisia ferganensis* byly pěstovány v prohlubních mezi dunami. Tři měsíce po výsadbě rostliny ukázaly následující výsledky: *Salsola richteri* – 43,6 %, *Calligonum caput-medusae* – 47,3 %, *Nitraria schoberi* – 21,1 %, *Krascheninnikovia eversmanniana* – 46,7 % a *Artemisia ferganensis* – 26,4 %. Sledované druhy reagovaly různě na deflaci. Mladí jedinci druhů *Nitraria schoberi* a *Artemisia ferganensis* ukázali nízkou odolnost k tomuto procesu. V listopadu všichni jedinci druhu *Nitraria schoberi* uschly. Míra přežití u druhu *Artemisia ferganensis* tvořila 17,5 %, u *Krascheninnikovia eversmanniana* – 20,5 %. Výzkum ukázal, že nejvíce odolnými druhy k procesům deflace jsou *Calligonum caput-medusae* a *Salsola richteri*. Jejich míra aklimatizace byla zaznamenána v rozmezí 34,6-40,7 % (tab. 5). V průběhu první vegetační doby jedinci druhu *Salsola richteri*, které byly vysazeny u úpatí duny, rostli mnohem lépe než jedinci pěstovaní na vrcholu duny. *Artemisia ferganensis*, která byla vysázena na vrcholu duny, podlehla procesu deflace a v důsledku toho její kořeny, které zůstaly otevřené, neodolaly mrazům a proto nepřežily. Jedinci, které byly pěstovány v prohlubních mezi dunami, přežily bez jakýchkoliv ztrát (Shomurodov a kol. 2013).

Names of plants	June, 2006		November, 2006	
	Survival rate (%)	Height of plants (cm)	Survival rate (%)	Height of plants (cm)
<i>Salsola richteri</i>	43.6	44.19 ± 2.12	40.7	79.03 ± 3.62
<i>Calligonum caput-medusae</i>	47.3	19.57 ± 1.41	34.6	25.5 ± 1.44
<i>Nitraria schoberi</i>	21.1	10.04 ± 0.51	0.0	-
<i>Krascheninnikovia eversmanniana</i>	46.7	15.91 ± 0.55	20.6	24.59 ± 1.21
<i>Artemisia ferganensis</i>	26.4	17.39 ± 1.54	17.5	41.11 ± 1.63

Tab.5. Míra přežití a délka výhonku rostlin (Shomurodov a kol. 2013)

Po terénním pokusu byly odhaleny nejperspektivnější druhy pro zpevnění písku. Druhy jako *Krascheninnikovia eversmanniana*, *Artemisia ferganensis* a *Salsola richteri*, *Calligonum caput-medusae* ukázaly vysokou odolnost, vývoj a růst (tab.5). *Krascheninnikovia eversmanniana* a *Artemisia ferganensis* nejsou odolné vůči procesu deflace, ale byly by vhodné pro zadržování písku v prohlubních mezi dunami. Naopak *Salsola richteri* a *Calligonum caput-medusae* projevíly vysokou rezistenci k deflaci.

Jejich míra přežití na písččných dunách představuje 17,1-40,7 %. Tvorba velké biomasy rostlin dosahuje 300 cm ve čtvrtém roce života. Rozmnožování probíhá pomocí náletu (*Salsola richteri*). Předpokládá se, že zmíněné rostliny jsou nadějnými druhy pro zalesnění dna Aralského moře (Khamzina a kol. 2006).

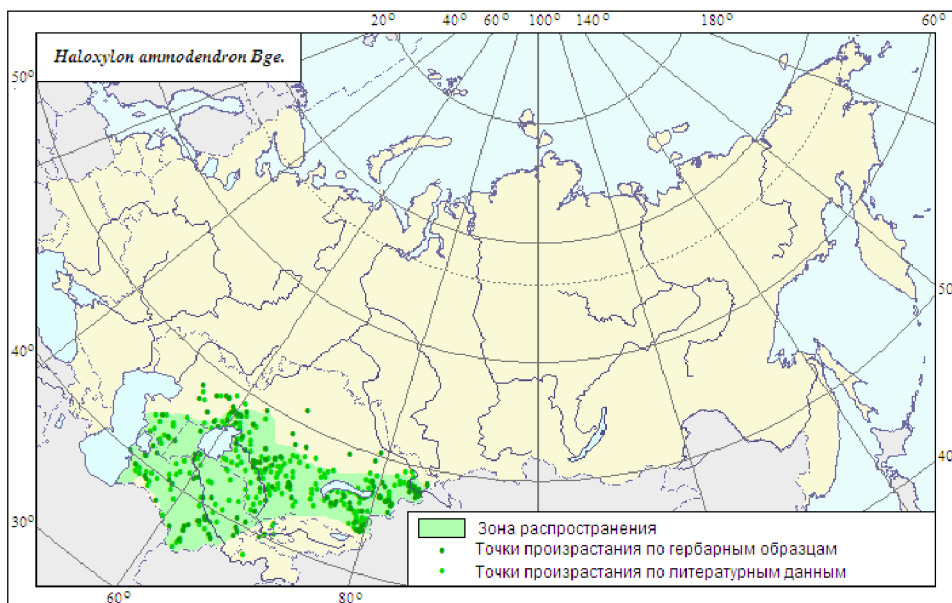
4.3 Nadějný druh – *Haloxylon ammodendron*

Nadějným a nejvíce rozšířeným druhem adaptovaným k podmínkám Aralského moře je také druh *Haloxylon ammodendron* (obr.6). Je to mnoholetý, větrosnubný keř nebo strom 1-5 m vysoký. Vytváří silný kořenový systém, který pokračuje několik metrů hluboko a pokrývá půdu o objemu několika metrů krychlových. Tento druh je rozšířený v aridní zóně Střední Asie (obr. 7). Patří ke xerofytům a halofytům. Roste na podhorských písčito-kamenitých pouštích, kotlinách s mělkou hladinou podzemní vody, v suchých korytech pouštních řek a solončakových okrajích písku (www.agroatlas.ru).



Obr.6. *Haloxylon ammodendron*
(<https://en.wikipedia.org/wiki/Haloxylon>)

Normální kvetení, které obvykle trvá 8-12 dnů, bylo společně s vysokým nasazením plodů pozorováno při teplém počasí (kolem +10 °C) na konci března až dubna v období s malým počtem srážek a s mírným větrem (ne více než 3 m/s). Naopak klesání teploty a růst srážek prodlužuje období kvetení (16-18 dnů) a to vede k prudkému poklesu procenta nasazení plodů (Kadereit a kol. 2006).



Obr.7. Rozšíření *Haloxylon ammodendron* (1. oblast rozšíření, 2. pěstební body z herbářových položek, 3. pěstební body podle literárních údajů) (Dziubenko, 2007).

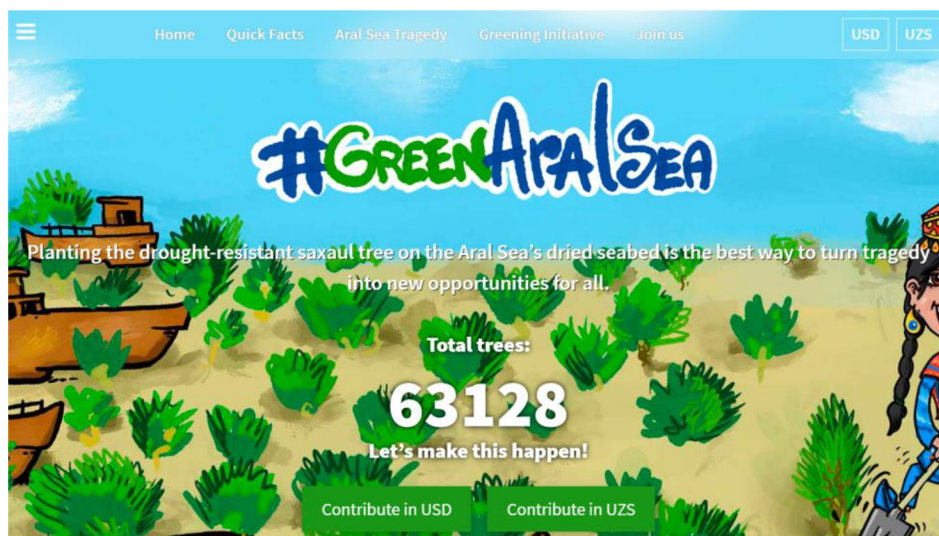
Při provádění rozsáhlé meliorační práce na suchém obnaženém dně je potřeba použít velký počet semen saxaulů na výsev suchého dna a také na výsev ve školkách pro získání sadebního materiálu (Khamzaev a kol. 2018). Proto se doporučuje založení semenných sadů jako způsob soustředění sběru osiva, zlepšení jejich kvality a úrodnosti (Novitskiy a kol. 2014). Dříve byla lesní výsadba na suchém dně prováděna pomocí osiva, které bylo sebráno z poušti Kyzylkum. Vybraná semena patřila jedincům odolným vůči nemocím a škůdcům (Novitskiy a kol. 2022). V současné době rostliny z daného osiva ve věku 8 let dosahují výšku 5 m s průměrem koruny kolem 350 cm. Přesně takové osivo by bylo vhodné na založení semenných sadů, protože mají dobré a přetrvávající genetické vlastnosti. Kvůli tomu, že saxaul není dlouholetá rostlina, je důležité založení semenných sadů (Atadjanova a kol. 2023).

Vytvoření plodů u druhu *Haloxylon ammodendron* začíná ve věku 5-6 let. Velikost úrody ve věku 8 let dosahuje 300-350 g, ve věku 15-20 let 1000-1500 g z jednoho stromu. Maximální úrody se dá očekávat u jedinců ve věku 15-18 let, kdy se hodnota pohybuje kolem 2000 g z jednoho stromu. Jedinci starší 20-25 let přestávají plodit každý rok (Sukhorukov, 2008).

Při pokusu prováděným Novitským bylo zjištěno, že saxaul velmi rychle reaguje na stříhání v mladém věku. Když na 1 ha plochy počet sestavoval 1500-2000 keřů při zakmenění kolem 0,9 stromy skoro neplodily kvůli silnému zahuštění. Po odstranění nemocných a poškozených jedinců jejich počet na 1 ha plochy sestavoval 500-750 stromů se zakmeněním 0,2-0,3. Už ve druhém roce se plodivost zvedla na 45 %. Z toho vyplývá, že optimální zakmenění pro dobrou plodivost je 0,2-0,3 se středním počtem stromů do 600 kusů (Doszhanov, Alpysbayeva, 2023).

V posledních třech letech bylo pomocí osiva *Haloxylon ammodendron*, sebraného ze semenných sadů, na suchém dně Aralského moře, provedena lesomeliorační práce na ploše o rozloze 1 550 000 ha. Zároveň byly založeny lesní školky na pěstování sazenic s rozlohou 520 ha. Pomocí sebraného osiva z trvalých lesních semenných ploch může být vytvořen vysoce produktivní porost odolný vůči škůdcům a nemocím (Novitskiy a kol. 2022)

Projekt, který používá druh *Haloxylon ammodendron* pro zalesnění suchého dna Aralského moře je crowdfundingová kampaň s názvem «Green Aral sea» (obr.č.4), kterou v roce 2020 zahájila Uzbecká Akcelerační laboratoř UNPD. Je to pilotní projekt nového přístupu k získávání finančních prostředků, kde každý člověk, který má přístup k internetu, může přispět finanční částkou. Příspěvek může být buď v amerických dolarech nebo v uzbeckých sumech. Daná iniciativa by měla zvýšit pozornost k problematice Aralského moře a zlepšit životní podmínky pro lidi z daného okolí. Jejím hlavním cílem je založení porostu o rozloze 100 ha na bývalém ostrovu Aralského moře – Vozrozhdeniya. Pro plnění daného cíle byl vybrán druh *Haloxylon ammodendron*. Aktuálně je naplánovaný počet jedinců pro výsadbu 100 000 stromů, ale se zvyšujícím úspěchem dané iniciativy se bude zvětšovat i plocha (<https://greenaralsea.org/>).



Obr.8. Webová stránka „Green Aral Sea“ (<https://greenaralsea.org/>).

4.4 Metody vytvoření ploch pro výsadbu

Nejvíce rozšířenou metodou na založení lesních porostů na hlinitých a písčitohlinitých půdách je výsadba lesních plantáží na brázdách, které byly vytvořeny pomocí stroje, který zakládá příkopy se štěrbinou a vytváří tak brázdy. Na zasolených půdách je důležitá instalace mechanické ochrany z rákosu s různou modifikací (stojící, polostojící, buňkové), které by hromadily písek. Dále je zapotřebí instalace mřížek

s velikostí 150 x 120 cm, které by zadržovaly písek. Vysekávání brázd na akumulaci písků do hloubky 40 cm bylo prováděno pomocí speciálního přístroje na vytváření brázd se štěrbinou, který byl zkonstruovaný laboratoří pro zalesňování a obnovu lesa Uzbekého lesního hospodářství. Spolu s vysekáváním brázd byla vytvořena štěrbina o hloubce 40 cm. Ve druhé variantě byly také vytvořeny brázdy, ale bez štěrbin. Význam první varianty spočíval v tom, že vlhkost, která v důsledku zimních a jarních srážek byla nahromaděna v brázdě, pronikala do štěrbin. Takovým způsobem byl vytvořen zásobník vlhkosti, který rostlina mohla používat v průběhu celého vegetačního období (Bakirov a kol. 2019).

Ve druhé variantě se vlhkost hromadila v brázdě o hloubce 40 cm. V létě, když teplota dosahovala 50 °C, veškerý písek ve stejné hloubce (40 cm) zcela vyschl a s tím zmizela i vlhkost. V první variantě saxaul, který má hluboký kořenový systém, spotřeboval vodu nahromaděnou ve štěrbině. Ve druhé variantě saxaul trpěl nedostatkem vlhkosti, což vedlo k poklesu růstu a někdy i k mortalitě. Výzkum ukázal, že dva roky po výsadbě sazenic do brázd se štěrbinou, míra jejich zachování byla 85 % (s výškou rostliny 95 cm a průměrem koruny 64 cm). V brázdě bez štěrbin jejich zachování kleslo na 52 % (výška rostliny 51 cm, průměr koruny 64 cm). Při jiných metodách vlhkost, která je obsažena ve vrchním horizontu, v létě se odpařovala. To vedlo k částečné mortalitě rostlin. Při metodě použití brázdy se štěrbinou vlhkost bude k dispozici pro rostliny v průběhu celého vegetačního období a objem bude 2-3krát více. Daný způsob prokázal svoji vysokou efektivitu a aklimatizace sazenic saxaulů, protože v brázdách bylo sebráno dost vlhkosti kvůli zimním a jarním srážkám. Byla zlepšená granulometrická a chemická soustava půdy a zároveň v brázdách došlo k nahromadění osiva travnatých rostlin (Novitskiy, 2012).

Jinou metodou je mechanická obrana na shromáždění písku pomocí rákosu. Cílem dané technologie bylo to, aby za pomoci překážek vytvořených z rákosu na zasolených půdách došlo k zadržení písku. Daná technologie byla instalována na podzim. V průběhu jara se nahromadil písek a v zimě byla zachycená vlhkost. V květnu, při provedení kontroly se ukázalo, že přednost měla polostojící obrana z rákosu, kde míra aklimatizace sazenic *Haloxylon ammodendron* sestavovala 59 %, *Tamarix pentandra* 56 %, *Halastahus belangeriane* 57 %, *Calligonum caput-medusae* 31 %. Při opakovaném měření, které bylo provedeno v září zachování sazenic *Haloxylon ammodendron* představovala 40 %, *Tamarix pentandra* 45 %, *Halastahus belangeriane* 46 %, *Calligonum caput-medusae* 17 %. Na zkusné ploše, kde nebyla nainstalovaná žádná mechanická obrana a nenahromadil se žádný písek, přežil jen druh *Halastahus belangeriane* s mírou aklimatizace 10 %. Ostatní sazenice neodolaly vysokou salinitu a zahynuly. Daný výzkum ukazuje na důležitost akumulace písku a vlhkosti pomocí

mechanické obrany z rákosu před založením nového porostu na zasolených půdách (Bakirov a kol. 2022)

Další metodou obrany je instalace mříží na zastavování písku. Dané mříže jsou buď dřevěné nebo plastové, velikosti 150x120 cm s rozměrem buňky 5x5 cm. Při provádění výzkumu na 1 ha plochy bylo instalováno 25-30 mřížek, které hromadily písek v podobě písečné vlečky. Mřížky byly následně přenesené na jinou plochu a na místě akumulace písku (vlečkou o délce 200 cm a výškou 100 cm), proběhlo zpevnění písku chemickými fixačními prostředky nebo mechanickou obranou s rozstupem mezi řádky 0,5 m a následující výsadbou rostlin snášejících sůl. Tato metoda je dobrá tím, že použité mřížky jsou přenosné, opakovaně použitelné a mohou být instalovány na různá místa zasolené půdy, pokud jsou v blízkosti písečné přísypy pohyblivých písků (Indoitu a kol. 2015).

Poslední metodou je vrtání jamek pro výsadbu a jejich zaplnění glaukonitem spolu s pískem obohaceným organickým hnojivem. Dané jamky byly udělány motorovou vrtačkou do hloubky 80 cm. Pomocí chemické analýzy bylo odhaleno, že půda má v hloubce 100 cm salinitu kolem 0,2-0,3 %, což představuje škodlivou hodnotu pro kořenový systém. Kvůli tomu, aby sůl nestoupala ze spodních vrstev a neměla nepříznivý vliv na kořeny rostlin, byl použit glaukonit, který být nasypán v tloušťce 20 cm na dno jamky. Zbylá část byla zaplněna pískem smíchaným s organickým hnojivem. Následně byly vysazeny sazenice *Tamarix pentandra* a *Halostahus Belangeriane*. Glaukonit je surovina, které vyvádí z půdy toxické látky a odstraňuje chlor, amoniak, dusičnany, pesticidy a obsahuje draslík. Daná surovina zlepšuje strukturu půdy, udržuje půdní vlhkost, stimuluje růst a rozvoj rostliny. Glaukonity jsou silnými sorbenty, které pohlcují a přeměňují soli těžkých kovů a radionuklidy, které jsou obsažené v půdě. Taková schopnost glaukonitů je velmi důležitá pro podmínky suchého dna Aralského moře, kde jsou rostliny zasaženy škodlivými chemickými látkami, kterých je velké množství. (Dukhovnyi a kol. 2008).

4.5 Vytvoření ploch pomocí nadačních fondů.

Mezi lety 2009-2019 pomocí nadací mezinárodních fondů byly vytvořeny ochranné lesní porosty v severovýchodní části Aralské oblasti. Hlavní dřevinou byl *Haloxylon ammodendron*, který roste na solné pláni dna Aralského moře (Dimeeva, 2013). K pozorování bylo vybráno 24 ploch s ochranným lesním porostem na suchém dnu Aralského moře. Plochy byly vytvořeny v letech 2009-2019 v blízkosti vesnici Karateren za pomoci grantu Mezinárodního fondu na záchranu Aralského moře,

Ekologického fondu Japonska (plochy 1-4, 17-23) a programu „Kořeny trávy“ od ambasády Japonska v Kazachstánu (plochy 5-16) (tab.5). Plocha 24 se nacházela ve vesnici Aralkum a byla vytvořena pomocí grantu UNDP Kazachstán. Plochy u vesnice Karateren byly uspořádány ve dvou skupinách ve vzdálenosti 5 km a 20 km od vesnice. Plochy u vesnice Aralkum se nachází na jeho západním okraji (Salmukhanbetova a kol. 2021).

Před výsadbou byla provedena fytomeliorace prvních 23 ploch v několika etapách. Nejdříve byla na solné pláni s rozlohou 1-5 ha realizována orba. Vytvořené brázdy byly orientovány perpendikulárně ke směru větru. Vzdálenost mezi brázdami představovala 10 m, mezi sazenicemi 1,5-2 m. Po orbě musí následovat obohacení vrchní vrstvy půdy pomocí písku. Méně, než za jeden rok v brázdách dochází k hromadění písku přirozeným způsobem. Na jaře docházelo k vysazování sazenic a na podzim k výsevu semen saxaulů. Založené plochy zalévají třikrát v průběhu první vegetační periody (Dimeeva a kol. 2013).

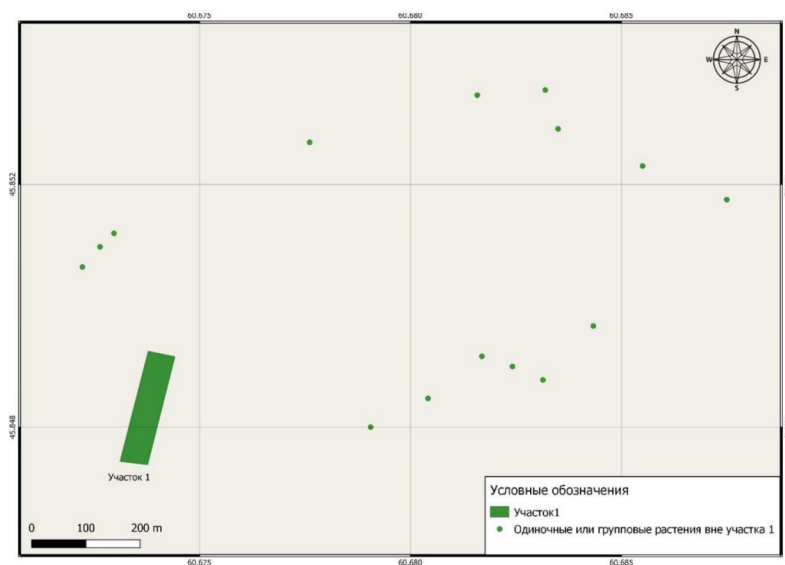
Poslední 24. pozemek u vesnice Aralkum byl vytvořen na fixaci pohyblivých písků fytomelioračními metodami spolu s mechanickou ochranou proti zvětrávání. Na tento proces byly použity klecové zabrány z rákosu o velikosti 3x3 m. Vykopání příkopů bylo provedeno v hloubce 30 cm, ve které byly umístěny rákosové rohože. Pro lepší fixaci vrchní části písku byly zlepšeny jejich vodní a chemické vlastnosti za použití hlíny. Pozemky zalévají dvakrát měsíc (Alimbetova a kol. 2020).

Pozemek №	Půda	Projekční pokrytí saxaulu	Zachování plantáži	Popis saxaulů
1	přimořská solončaková středně hlinitá	40%	64,50%	Věk 11-12 let. Pod nim dvou a tři letý podrost. Střední výška 195 cm, průměrná plocha koruny 1,7 m ² , největší 5,5 m ² . Byl zformován dvou- a tříletý podrost. Počet dvouletých sazenic je 18 kusů, tříletých 40 kusů na ploše 100 m ² . Bylo odhaleno 15 oáz rozšíření saxaulu od mateřského porostu (obr.č.5)
2	otakyrový solončak	21,50%	9,40%	Věk 11-12 let. Je tu zformován 3-6 letý podrost saxaulu. Střední výška 190,4 cm, průměrná plocha koruny 2,8 m ² , největší 6,6 m ² . Počet 80 kusů na ha, tříleté jedince saxaulu 16 kusů, čtyřletých 11 kusů, šestiletých 4 kusy na plochu s výměrou 10x100 m.
3-4	otakyrový solončak	25%		Věk saxaulu 7-9 let, pod nim je zformovaný podrost jedinců od 3 do 5 let. Střední výška 200 cm, průměrná plocha koruny 5,1 m ² , největší je 8,4 m ² . Počet 500 kusů na ha, množství tříletých jedinců 7 kusů, pětiletých 3 kusy na ploše o výměře 100 m ² .
5	písečná poušť, která se formuje	8%	20%	Věk jedincu <i>Haloxylon</i> je 10 let. Vyskytují 3-4 leté jedince a jednoletý podrost. Střední výška 76 cm, průměrná plocha koruny 1 m ² , největší 5,9 m ² . Početnost 100 kusů na ha
6	písečná poušť, která se formuje	0,1 %	2%	Věk jedinců <i>Haloxylon</i> 10 let, jejich střední výška 80 cm, průměrná plocha koruny 0,5 m ² , největší 1,6 m ² . Početnost 10 kusu na ha
7	otakyrový solončak	5%	19%	Věk 10 let. Střední výška 133,3 cm, průměrná plocha koruny 3,1 m ² , největší – 5,8 m ² . Početnost 95 kusů na ha
8	otakyrový solončak	2%	9%	Věk <i>Haloxylon</i> 10 let, střední výška 118,3 cm, průměrná plocha koruny 2,9 m ² , největší 4,6 m ² . Početnost 44 kusů na ha
9-10	takyrovidní s polygonálními trhlíny	0,04%	2,2 %	Věk jedinců <i>Haloxylon</i> 10 let. Střední výška 61,7 cm, střední plocha koruny 0,3 m ² , největší 0,9 m ² . Početnost 11 kusů na ha
11	korkový solončak	1,1 %	4%	Věk jedinců <i>Haloxylon</i> 8 let. Vyskytuje jednoletý podrost. Střední výška 220 cm, průměrná plocha koruny 2,4 m ² , největší 5,9 m ² . Počet jedinců 20 kusů na ha
12	korkový solončak	0,1 %	0,3 %	Střední výška 220 cm, průměrná plocha koruny 5 m ² . Početnost 2 kusy na ha
13	korkový solončak	0%	0%	žádný zachovaný jedinec
14	korkový solončak		0,12%	Početnosti saxaulu je 1 kus na ha
15	korková tlustá takyrová půda	0,1 %		
16	korkový tlustý solončak	0,06%	0,2 %	Věk saxaulů 8 let, existuje jednoletý podrost. Střední výška 175 cm a průměrná plocha koruny je 7,5 m ² . Početnost 1 kus na ha
17	přimořské hlinitopisčité	4,2 %	78%	Věk saxaulů 6 let, existuje jednoletý podrost. Střední výška 136 cm a průměrná plocha koruny je 0,6 m ² , největší 6 cm. Početnost 700 kusů na ha

18	přímořská solonchaková lehká hlína s nadložním písčitým pokryvem	18%	72,4 %	Věk saxaulů 5 let, střední výška 112 cm. Průměrná plocha koruny je 0,9 m ² , největší 1,5 m ² . Početnost 700 kusů na ha
19	přímořská písčitohlinitá půda	12,6 %		Věk saxaulu je 3 roky, což je semenné období pro daný druh. Střední výška je 176,7 cm, průměrná plocha koruny 1,4 m ² , největší je 2,3 m ² . Stav <i>Haloxylon ammodendron</i> je výborný, početnost kusů na ha je 900.
20	přímořská středně hlinitá půda	2,1 %		
21	korkový solončák	0,2 %	6 %	Věk saxaulů je 4 roky, střední výška 60 cm, střední plocha koruny 0,2 m ² . Početnost 60 kusů na ha
22	korkový solončák		4,5 %	věk saxaulů 4 roky, střední výška 75 cm, průměrná plocha koruny je 0,6 m ² , s počtem 45 kusů na ha
23	přímořská solončaková půda s nafoukaným písčným krytem	6,3 %	70%	Věk <i>Haloxylon ammodendron</i> je 3 roky, střední výška 89 cm, střední plocha koruny 0,9 m ² , největší 1,9 m ² . Množství jedinců je 700 kusů na ha
24	1. jemnozrní písek		13,6 %	Daný pozemek se nachází v blízkosti vesnici Aralkum a je rozdělen na 2 plochy o výměře 1 ha. Na prvním porostu saxaul dosahuje věku 4-5 let. Jeho střední výška 133 cm, průměrná plocha koruny 2,7 m ² , největší 5,5 m ² . Množství: 888 kusů na ha. Na druhém porostu věk druhu <i>Haloxylon ammodendron</i> je 4-5 let. Střední výška 111,8 cm, průměrná plocha koruny 1,2 m ² , největší 2 m ² . Množství 2633 kusů na ha.
	2. jemnozrní písek	66%	50,40%	

Tab.č.6 Fytomeliorace 24 ploch (Salmukhanbetova a kol. 2021)

Daná tabulka byla vytvořena vlastním zpracováním.



Obr.9. Rozšíření *Haloxylon ammodendron* od mateřského porostu (1.plocha č.1, 2. jednotlivé nebo skupinové rostliny mimo plochu číslo 1) (Salmukhanbetova a kol. 2021).

Z daných výsledků je zřejmé, že nejúspěšnějším příkladem fytomeliorační práce je pozemek číslo jedna. Velký počet sazenic klíčí i mimo vysazené řady a rozšiřuje se na dost velké vzdálenosti od mateřského porostu ve směru větru. Proces degradace začíná v 10letých porostech díky velké hustotě, aktivitě hlodavců, velbloudů a vzniku hálek kvůli působení hmyzu, hub nebo jiných organismů. Na pozemcích 3-4 bylo pozorováno zvýšené množství *Haloxylon ammodendron* v porovnání s počtem původně zakořeněných rostlin. Na to mělo vliv několik faktorů: výskyt saxaulů různého věku a dobrá obnova. Pozemky 5-16 měly nízké zachování porostu, kvůli působení antropogenních faktorů jako je pastva dobytku a používání dřeva místními obyvateli. Vysoká vlhkost neodpovídá ekologii druhu *Haloxylon ammodendron*. To je vidět na pozemku číslo 13, protože zde nevyskytoval žádný jedinec. Na začátku aklimatizační hodnota představovala pouhých 5 %. Důvodem bylo blízkost pozemku ke korytu řeky Syrdarya. Naopak na pozemcích 20, 21, 23 bylo pozorováno zvětšení počtů aklimatizovaných rostlin v porovnání s prvním rokem po výsadbě. Důvodem bylo to, že jedinci se nacházeli ve fázi hibernace, která byla způsobena nedostatkem vlhkosti. Pozemek 24 byl rozdělen na dvě plochy, kde na každé z nich byl pozorován určitý úbytek výsadby. Na první ploše ztráta představovala 21,3 %, na druhé ploše 12,2 % (Salmukhanbetova a kol. 2021).

Důležité body při provádění fytomeliorační práci na suchém dně Aralského moře:

- Kvůli rychlé změně klimatu a kontinentálnímu počasí Aralského regionu je důležité fytomelioraci provádět v periodách s dobrými povětrnostními podmínkami.

- Při poklesu srážek v období přechodu z léta na podzim a zvýšení teploty je důležité uměle podporovat vlhkostní režim ve vrchní vrstvě půdy.
- Pro zlepšení aklimatizaci halofytních keřů na solončakových půdách je vhodné zakládání řídkých porostů provázaným s malým zavlažováním vodou s nízkou salinitou (2 g/l) v prvních dvou letech
- Nelze dovolit vznik otevřené solončakové půdy bez žádné vegetace místo tugainích aluviálních mírně až středně zasolených půd a lužních a zbytkových solončaku. V důsledku oteplování a zvýšení intenzity slunečního záření takové plochy, v krátkém časovém intervalu, rychle se přeměňují ve velmi silné, hluboce zasolené solončaky. Rekulivace takové půdy by nebyla možná bez vymývání vodou a daná půda by byla dále nepoužitelná pro hospodaření.

(Huang a kol. 2003)

- Pro zjištění aklimatizační hodnoty *Haloxylon ammodendron* je důležité provádět kontrolu v prvním roce zalesnění. Další monitorování by muselo být provedeno za 3-5 let. V daném věku *Haloxylon ammodendron* dosahuje generativní fáze a porost se dá posoudit z geobotanického a melioračního pohledu.
- Na zalesněných plochách, které se nachází v blízkosti sídlišť, by měla být kontrola realizována každý rok, kvůli antropogennímu působení. Pro příklad můžou sloužit výzkumné plochy 5-16, které se nacházely ve vzdálenosti 5 km od vesnice Karateren a měly nízký ukazatel zachování porostu

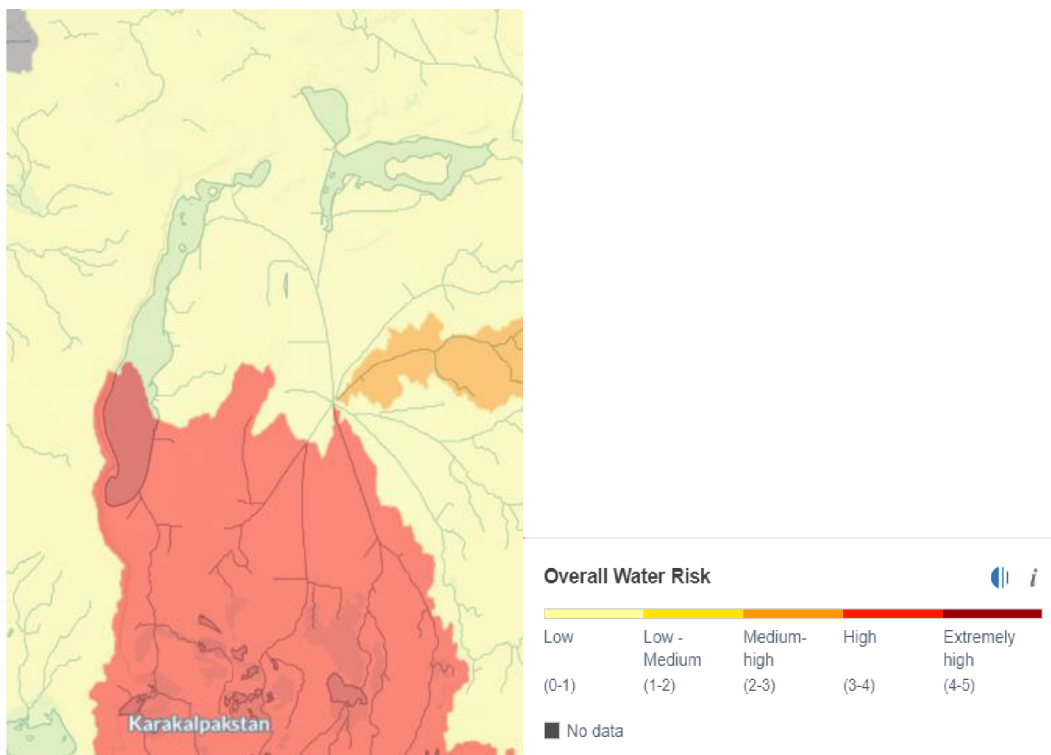
(Salmukhanbetova a kol. 2003).

5. Ohrožující faktory

5.1 Vodní stres

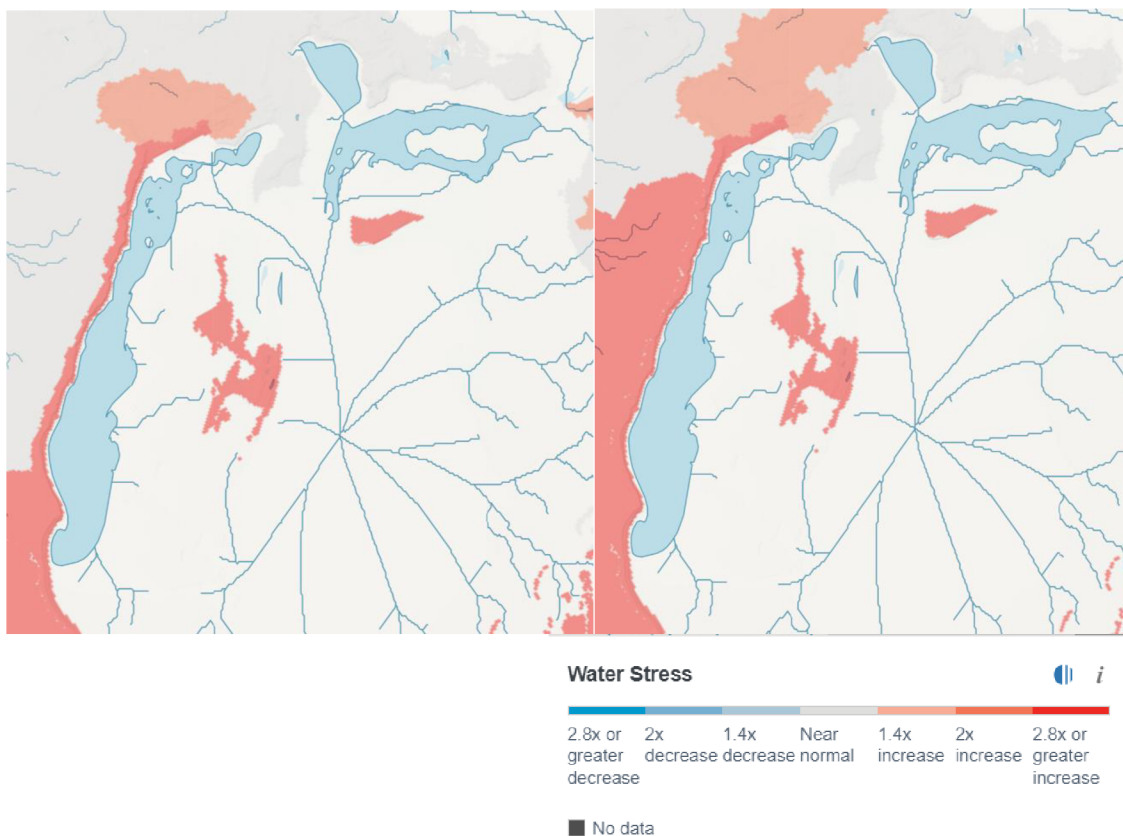
Vlhkost hraje důležitou roli ve vývoji porostu. Změna klimatu může snížit dostupnost vody v řekách na 20-40 % (Almanov a kol. 2006). Tento problém by vedl k vysychání záplavových území a následné ztrátě solončakových porostů (Kuzmina, Treshkin, 2010). Ohrožujícím a rostoucím faktorem v blízké budoucnosti je vodní stres, který ukazuje na poměr poptávky vody mezi lidskou společností a celkovou zásobou vody. Dalším problémem je sucho (<https://www.wri.org/aqueduct>).

Na první mapě je ukázaná průměrná celoroční hodnota vodního stresu. Je zřetelně vidět vysoký index na jižní části Aralského moře a k němu přiléhající regiony (obr.3), které leží na území republiky Karakalpakstán (<https://www.wri.org/aqueduct>).



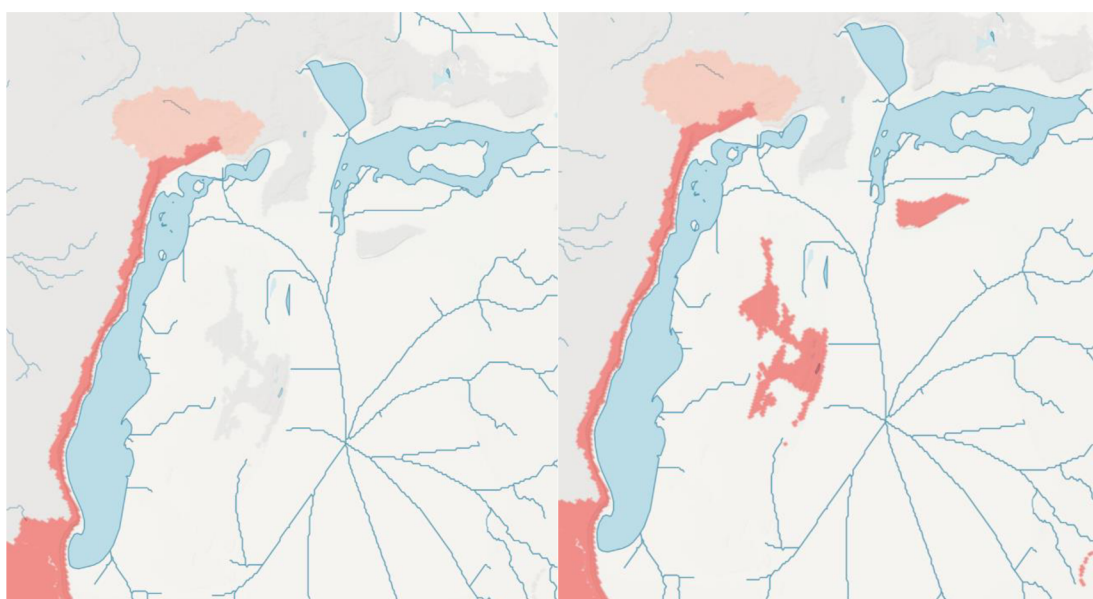
Obr.10. Mapa vodního stresu (<https://www.wri.org/aqueduct>).

Druhá a třetí mapa znázorňuje pesimistickou prognózu Aralského moře v roce 2030 a 2040 (obr. 3). Podle předpovědi by vodní stres v roce 2030 vyrostl 2,8krát nebo více. K zasaženému území patří město Kungrad v Karakalpakstanu a město Shalkar v Kazachstánu. Velkému vodnímu stresu také podléhá poušť Aralkum (<https://www.wri.org/aqueduct>).



Obr.11. Pesimistická prognóza Aralského moře v roce 2030 (vlevo) a 2040 (vpravo) (<https://www.wri.org/aqueduct>).

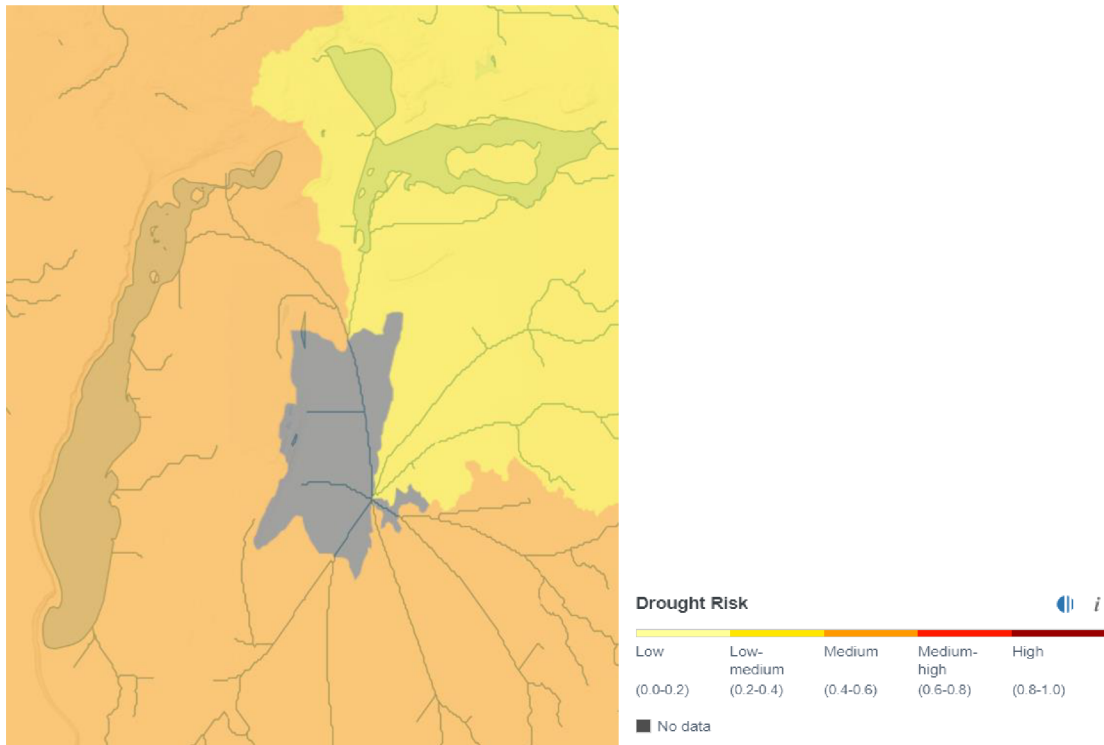
Mapa číslo čtyři představuje optimistický odhad stavu Aralského moře v roce 2030 a 2040 (obr.5). Je vidět, že i kladná prognóza vede časem k velkému zvýšení vodního stresu, i když je tento proces pomalejší (<https://www.wri.org/aqueduct>).



Obr.12. Optimistické prognóza Aralského moře v roce 2030 a 2040 (<https://www.wri.org/aqueduct>).

5.2 Riziko sucha

Riziko sucha určuje, kde se sucho pravděpodobně vyskytne, kolik obyvatel a majetku bude postiženo a jak jsou obyvatelé a majetek zranitelní vůči nepříznivým účinkům. Pravděpodobnost výskytu sucha v oblasti Aralského jezera vykazuje střední hodnoty, to znamená poměrně velkou pravděpodobnost, že příští roky budou suché (obr.5). Oblast, která leží na severovýchod od jezera má nižší pravděpodobnost výskytu sucha. Šedá oblast je oblast, pro kterou nejsou k dispozici data (<https://www.wri.org/aqueduct>).



Obr.13. Mapa výskytu rizika sucha (<https://www.wri.org/aqueduct>).

6. Diskuse

Podle mého názoru jsou dané obrovské projekty na zalesnění a melioraci suchého dna sice nákladné, ale popsané pouštní rostliny, při jejich správné výsadbě, mohou zlepšit nejen podmínky životního prostředí, ale i ovlivnit sociální život obyvatel Aralského regionu. Příkladem mohou sloužit bohaté zkušenosti zahraničních států.

Velký fytomeliorační projekt „Great Green Wall“ zahájený v roce 2007 v Africe, má za cíl zastavit rozšíření pouště Sahara k jižní části Afriky. Jedná se o vytvoření lesního pásu podél celé hranice od Senegalu až po Džibuti. Jeho délka je 8 tis.km a šířka 15 km (Goffner a kol. 2019). Tento přístup již vedl k dokončení 18 % projektu, vytvoření 350 000 pracovních míst, obnově více než 20 milionů hektarů půd a vyškolení 10 milionů lidí v oblasti udržitelného hospodaření s půdou a vodou (www.undp.org).

Dalším příkladem může být světově největší projekt zalesnění v Číně pod stejným názvem „Great Green Wall“, který má za cíl zalesnit cca 34 mil ha plochy do roku 2050. Hlavní město Číny – Peking byl v období března a dubna pravidelně ovlivňován písečnou bouří přenášenou z poušti Gobi. Jeho severní část podléhá erozi. Kvůli tomu se čínská vláda rozhodla udělat projekt, který se skládá ze třech lesních pásem v severní části. Toto opatření by mělo sloužit jako první ochranná linie proti písečným bouřím (https://youtu.be/xC_2VpeunDo). Ale bohužel není vše tak jednoznačné. Očekávání rychlých výsledků vedlo k používání nevhodných druhů k zalesňování, obzvláště v ekologicky citlivých oblastech, kde nebyly vzaté na vědomí geologické, pedologické a klimatické podmínky. To často vedlo k negativnímu ovlivnění půdního ekosystému, snížení vegetace a nedostatku vlhkosti. Jak zmiňují ve své práci kolektiv vědců z Číny a USA je důležité především upřednostnit omezování pastvy, těžbu dříví a snažit se, co nejvíce zachovat přirozenou vegetaci (Cao a kol. 2010).

Je důležité brát zalesnění suchého dna Aralského moře nejen z pozitivní stránky, ale také vzít v úvahu veškerá rizika, které mohou nastat v budoucnosti. Je podstatné přemýšlet v dlouhodobém měřítku a nespoléhat na rychlé výsledky, které budou mít možná přínos na začátku, ale rychle zmizí.

7. Závěr

Na daný okamžik zalesnění suchého dna má moc dobré výsledky a podle mého názoru je to proveditelný projekt s velkými přínosy. Zda to bude fungovat i v budoucnosti, je otázkou času. Jak bylo vidět na mapě s prognózou vodního stresu a rizikem sucha (obr.) velkou část dané oblasti při pesimistické prognóze deficit vody zasáhne za pouhých 10 let. Prognóza spojená se suchem nám také předpovídá o velké pravděpodobnosti, že příští roky budou suché.

Oblast Aralského jezera je nesmírně zranitelná v budoucnu díky klimatickým změnám, které budou v našem oteplujícím se světě pokračovat. Dalším problémem do budoucna mohou v oblasti být nevyhovující zastaralá zavlažovací zařízení, která vodu z části přivádějí k plodinám, ale mnoho vody se ztrácí. Půda se zasoluje a přibývají do ní pesticidy, herbicidy a další chemické látky, používané v oblasti v obrovském množství. Zalesnění části Aralského jezera může přispět, pokud se povede a pokud bude dostatek sil a financí na jeho dokončení, k ekologické stabilitě části oblasti kolem Aralského jezera.

Je důležité chápat, že daná situace nebude jednoduchá, a její řešení zabere hodně práce, času a nákladů. Některé podmínky nebudou vůbec závislé na člověku a nebude to možné nějak ovlivnit. Ale s časem se rozvíjí i způsoby dosažení cílů a progresivita nikdy nestojí na jednom místě. Věřím, že budou vždy možnosti a způsoby ovlivnění dané problematiky.

8.Literární zdroje

1. ADILOV, B. Changes in the Biomass of Vegetation in the Aral Sea Region. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis* [online]. 2021, 04(05) [cit. 2023-04-05]. ISSN 26439840. Dostupné z: doi:10.47191/ijmra/v4-i5-29
2. AGRAWALA, S., M.BARLOW, H. CULLEN & B. LYON. *The Drought and Humanitarian Crisis in Central and Southwest Asia: A Climate Perspective* [online]. 2001, 24 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: doi:10.7916/D8NZ8FHQ
3. ALIMBETOVA, Z., A. DIMEYEVA & K. SATEKEYEV. Experience on fixing mobile sands in the Aralkum village. *Eurasian Journal of Ecology* [online]. 2020, 62(1), 47-57 [cit. 2023-04-04]. ISSN 26177358. Dostupné z: doi:10.26577/EJE.2020.v62.i1.05
4. ASHIRBEKOV, U. & I. ZONN. *ARAL: THE HISTORY OF DYING SEA* [online]. Dushanbe, 2003 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <http://www.cawater-info.net/library/eng/aryl-hystory-en.pdf>
5. BAKIROV, N., Kh. KHAMZAEV a B. NOVITSKIY. Forest Plantations on the Drained Bottom of the Aral Sea. *Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal)* [online]. 2020, (2), 51-59 [cit. 2023-04-04]. ISSN 05361036. Dostupné z: doi:10.37482/0536-1036-2020-2-51-59
6. BAKIROV, N., Z. NOVITSKIY & Kh. KHAMZAEV. Methods of Creating Various Forest Plantations on the Dried-up Bottom of the Aral Sea. *Contemporary Problems of Ecology* [online]. 2022, 15(7), 799-805 [cit. 2023-04-04]. ISSN 1995-4255. Dostupné z: doi:10.1134/S1995425522070046
7. BORTNIK, V. Changes in the water-level and hydrological balance of the Aral Sea. *The Aral Sea Basin* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996, 1996, 25-32 [cit. 2023-04-04]. ISBN 978-3-642-64736-9. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-61182-7_3
8. CAO, S., L. CHEN, D. SHANKMAN, Ch. WANG, X. WANG a H. ZHANG. Excessive reliance on afforestation in China's arid and semi-arid regions: Lessons in ecological restoration. *Earth-Science Reviews* [online]. 2011, 104(4), 240-245 [cit. 2023-04-04]. ISSN 00128252. Dostupné z: doi:10.1016/j.earscirev.2010.11.002
9. DOSZHANOV, K. & A. ALPYSBAYEVA. TECHNOLOGY OF GROWING SAXAUL SEEDLINGS IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF KARAKALPAKSTAN. *EPRA International Journal of Multidisciplinary Research*

- (IJMR) [online]. 9 Mar 2023, 9(3), 2 [cit. 2023-04-04]. ISSN 2455-3662.
Dostupné z: doi:10.36713/epra2013
10. DUKHOVNYI, A., P. NAVRATILA, I. RUZIEVA & G. STULINA. *Комплексные дистанционные и наземные исследования осушенного дна Аральского моря* [online]. Tashkent, 2008 [cit. 2023-04-04]. ISBN 9965-32-616-9. Dostupné z: http://cawater-info.net/library/rus/arak_book_2008_ru.pdf
 11. *EXPERIENCE OF AFFORESTATION ON THE DRY ARAL SEABED* [online]. 2013, 7 Apr 2013, 6 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: http://www.cawater-info.net/bk/water_land_resources_use/russian_ver/pdf/ashirbekov.pdf
 12. FAIZULAYEVA, K. *ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА АРАЛЬСКОГО МОРЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ* [online]. Jizzakh, Uzbekistan, 2013, 5 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-ekologicheskogo-krizisa-aralskogo-morya-i-ego-vliyanie-na-zdorovie-naseleniya/viewer>
 13. GOFFNER, D., H. SINARE & J. GORDON. The Great Green Wall for the Sahara and the Sahel Initiative as an opportunity to enhance resilience in Sahelian landscapes and livelihoods. *Regional Environmental Change* [online]. 2019, 19(5), 1417-1428 [cit. 2023-04-04]. ISSN 1436-3798. Dostupné z: doi:10.1007/s10113-019-01481-z
 14. HEIDARI-SHARIFABAD, H. & H. MIRZAIIE-NODOUSHAN. Salinity-induced growth and some metabolic changes in three *Salsola* species. *Journal of Arid Environments* [online]. 2006, 67(4), 715-720 [cit. 2023-04-05]. ISSN 01401963. Dostupné z: doi:10.1016/j.jaridenv.2006.03.018
 15. HUANG, Zh., X. ZHANG, G. ZHENG & Y. GUTTERMAN. Influence of light, temperature, salinity and storage on seed germination of *Haloxylon ammodendron*. *Journal of Arid Environments* [online]. 2003, 55(3), 453-464 [cit. 2023-04-04]. ISSN 01401963. Dostupné z: doi:10.1016/S0140-1963(02)00294-X
 16. INDOITU, R., G. KOZHORIDZE, M. BATYRBAEVA, I. VITKOVSKAYA, N. ORLOVSKY, D. BLUMBERG & L. ORLOVSKY. Dust emission and environmental changes in the dried bottom of the Aral Sea. *Aeolian Research* [online]. 2015, 17, 101-115 [cit. 2023-04-04]. ISSN 18759637. Dostupné z: doi:10.1016/j.aeolia.2015.02.004
 17. KADEREIT, G., L. MUCINA & H. FREITAG. Phylogeny of *Salicornioideae* (Chenopodiaceae): diversification, biogeography, and evolutionary trends in leaf and flower morphology. *TAXON* [online]. 2006, 55(3), 617-642 [cit. 2023-04-04]. ISSN 00400262. Dostupné z: doi:10.2307/25065639

18. KAPUSTINA, L., M. TORRELL & J. VALLÉS. *Artemisia Communities in Arid Zones of Uzbekistan (Central Asia)* [online]. 1998, 10 [cit. 2023-04-04].
Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/238734061_Artemisia_Communities_in_Arid_Zones_of_Uzbekistan_Central_Asia
doi:10.1146/annurev.earth.35.031306.140120
19. KHAMZINA, A., J.P.A. LAMERS, W. WORBES, E. BOTMAN & G. VLEK. Assessing the Potential of Trees for Afforestation of Degraded Landscapes in the Aral Sea Basin of Uzbekistan. *Agroforestry Systems* [online]. 2006, 66(2), 129-141 [cit. 2023-04-04]. ISSN 0167-4366. Dostupné z: doi:10.1007/s10457-005-4677-1
20. KUZMINA, V. & E.TRESHKIN. Климатические изменения и перспективы восстановления растительности в Приаралье. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса* [online]. 2010, (2), 12 [cit. 2023-04-04].
Dostupné z: <https://cyberleninka.ru/article/n/klimaticheskie-izmeneniya-i-perspektivy-vosstanovleniya-rastitelnosti-v-priaralie/viewer>
21. MICKLIN, P. & W. WILLIAMS. *The Aral Sea Basin* [online]. 1. Heidelberg: Springer Berlin, Heidelberg, 1996 [cit. 2023-04-04]. ISBN 978-3-642-61182-7.
22. MICKLIN, P. *Managing Water in Central Asia, Central Asian and Caucasian Prospects* [online]. London: The Royal Institute of International Affairs, 2000 [cit. 2023-04-04]. ISBN 1862030006. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/249994965_Micklin_Philip_P_Managing_Water_in_Central_Asia_Central_Asian_and_Caucasian_Prospects_London_The_Royal_Institute_of_International_Affairs_2000
23. MICKLIN, P. The Aral Sea Disaster. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007, 1996, 35(1), 47-72 [cit. 2023-04-04]. ISBN 978-3-642-64736-9. ISSN 0084-6597. Dostupné z: MICKLIN, Philip a William WILLIAMS. *The Aral Sea Basin* [online].
24. LU, Y., J. Q. LEI, F. J. ZENG, B. ZHANG, G. J. LIU, B. LIU a X. Y. LI. Effect of NaCl-induced changes in growth, photosynthetic characteristics, water status and enzymatic antioxidant system of *Calligonum caput-medusae* seedlings. *Photosynthetica* [online]. 2017, 55(1), 96-106 [cit. 2023-04-04]. ISSN 03003604. Dostupné z: doi:10.1007/s11099-016-0234-6
25. MOJIRI, A. a A. JALALIAN. Relationship between growth of *Nitraria schoberi* and some soil properties. *The Journal of Animal & Plant Sciences* [online]. Isfahan, Iran, 2011, (21), 246-250 [cit. 2023-04-04]. ISSN 1018-7081.

26. NOVITSKIY, Z., N. KOKSHAROVA & V. SNIGIREV. *Рекомендации по созданию защитных насаждений на грунтах легкого механического состава осушенного дна Арала*. [online]. Tashkent: Uzinformagroprom, 1991, 1991, (10) [cit. 2023-04-04].
27. NOVITSKIY, Z. & K. USTEMIROV. Forest Plantations on the Drained Bottom of the Aral Sea. *Ekologicheskij vestnik Uzbekistana* [online]. 2015, (10) [cit. 2023-04-04].
28. NOVITSKIY, Z., Kh. KHAMZAEV, Zh. BAKIROV & H. ATADJANOVA. CREATION OF PERMANENT FOREST-SEED PLOTS OF SAXAUL (HALOXYLON APHYLLUM (MINKW.)) ON THE DRAINED BOTTOM OF THE ARAL SEA. *Russian Journal of Ecosystem Ecology* [online]. 2022, (2) [cit. 2023-04-04]. ISSN 25000578. Dostupné z: doi:10.21685/2500-0578-2022-2-1
29. NOVITSKIY, Z., Kh. KHAMZAEV, Zh. BAKIROV & H. ATADJANOVA. THE GENE POOL OF DESERT PLANTS ON THE DRAINED BOTTOM OF THE ARAL SEA. *Russian Journal of Ecosystem Ecology* [online]. 2022, 7(1) [cit. 2023-04-04]. ISSN 25000578. Dostupné z: doi:10.21685/2500-0578-2022-1-2
30. NOVITSKIY, Z., Kh. HAMZAYEV, Zh. BAKIROV, G. KURBANOV & H. ATADJANOVA. Cultivation of the Saksaul (*Haloxylon aphyllum* Minkw.) seedlings in the plant nurseries of the Aral Sea region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [online]. 2023, 1142(1) [cit. 2023-04-04]. ISSN 1755-1307. Dostupné z: doi:10.1088/1755-1315/1142/1/012103
31. SHOMURODOV, H., T. RAKHIMOVA, Sh. SARIBAEVA, N. RAKHIMOVA, R. ESOV & B. ADILOV. Perspective Plant Species for Stabilization of Sand Dunes on the Exposed Aral Sea Bed. *Journal of Earth Science and Engineering* [online]. 2013, 25.října 2013, (3) [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/346219201_Perspective_Plant_Species_for_Stabilization_of_Sand_Dunes_on_the_Exposed_Aral_Sea_Bed
32. SHUTTER, U., V. DUCHOVNIY, ed. *Южное Приаралье - новые перспективы* [online]. Tashkent: Нори, 2003 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <http://www.cawater-info.net/library/rus/nato.pdf>
33. SUKHORUKOV, A. Fruit anatomy of the genus *Anabasis* (Salsoloideae, Chenopodiaceae). *Australian Systematic Botany* [online]. 2008, 21(6) [cit. 2023-04-04]. ISSN 1030-1887. Dostupné z: doi:10.1071/SB08013
34. TAIROV, M. АРАЛЬСКОЕ МОРЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ. In: *Мысль* [online]. Kazakhstan, Almata: Kazgazeta.kz, 2018 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://mysl.kazgazeta.kz/>

35. *The Water Management Crisis in Soviet Central Asia* [online]. Pittsburgh, Pennsylvania: The Carl Beck Papers, 1991 [cit. 2023-04-04]. ISSN 0889-275X. Dostupné z: <https://carlbeckpapers.pitt.edu/ojs/index.php/cbp/article/view/105/106>
36. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Aral sea and the Aral region* [online]. Tashkent: UNESCO, 2020 [cit. 2023-04-04]. ISBN 978-99-4-358491-4. Dostupné z: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374223>
37. ZHOLDASOVA, I. Sturgeons and the Aral Sea ecological catastrophe. *Sturgeon Biodiversity and Conservation* [online]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002, 373-380 [cit. 2023-04-04]. Developments in Environmental Biology of Fishes. ISBN 0-7923-4517-7. Dostupné z: doi:10.1007/0-306-46854-9_25
38. САЛМУХАНБЕТОВА, Ж., А. ИМАНАЛИНОВА, А. ДИМЕЕВА & Е. ЗВЕРЕВ. Состояние саксауловых насаждений казахстанской части Приаралья. *Central Asian Journal of Water Research* [online]. 2021, 7(1), 1-36 [cit. 2023-04-04]. ISSN 25229060. Dostupné z: doi:10.29258/CAJWR/2021-R1.v7-1/1-36.rus

Obrázky, grafy a tabulky:

1. Obr.1 Změna Aralského moře na satelitních snímkách. In: www.cawater-info.net [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: http://www.cawater-info.net/aral/data/satellite_e.htm
2. Graf 1. Měsíční úhrn srážek. In: [karelie.ru](http://thermo.karelia.ru) [online]. [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <http://thermo.karelia.ru/eng/>
3. Tab. 1. Průměrná teplota In: [karelie.ru](http://thermo.karelia.ru) [online]. [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <http://thermo.karelia.ru/eng/>
4. Graf 2. Průměrná roční vodní bilance Aralského moře (1911-2005). In: Micklin, 2007 [online]. [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.earth.35.031306.140120>
5. Tab.2 Dynamika změny salinity ve východní a západní části Velkého Aralského moře. In: <https://www.unesco.org/en> [online]. [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374223>.
6. Tab.3. Akumulace soli melioračními rostlinami na suchém dně Aralského moře. In: Bakirov a kol., 2020 [online] [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=R12020000003>

7. Obr.2. Výzkumná plocha v oblasti Muynak, republika Karakalpakstán. In: Shomurodov a kol., 2013 [online]. [cit.2023-04-04]. Dostupné z: Shomurodov a kol. 2013 . Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/346219201_Perspective_Plant_Species_for_Stabilization_of_Sand_Dunes_on_the_Exposed_Aral_Sea_Bed
8. Obr.3. *Krascheninnikovia ewersmanniana*. In: www.gbif.org [online]. [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.gbif.org/occurrence/4046507146>
9. Obr.4. *Salsola richteri*. In: plantarium.ru [online] [cit.2023-04-04]. Dostupné z: (<https://www.plantarium.ru/lang/en/page/image/id/110244.html>)
10. Obr.5. *Calligonum caput-medusae*. In: plantarium.ru [online]. [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.plantarium.ru/lang/en/page/image/id/439593.html>
11. Tab.5. Míra přežití a délka výhonku rostlin. In: Shomurodov a kol. 2013 [online]. [cit.2023-04-04]. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/346219201_Perspective_Plant_Species_for_Stabilization_of_Sand_Dunes_on_the_Exposed_Aral_Sea_Bed
12. Obr.6. *Haloxylon ammodendron*. In: Wikipedia [online]. [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Haloxylon>
13. Obr.7. Rozšíření *Haloxylon ammodendron*. In: AgroAtlas [online]. [cit.2023-04-04]. Dostupné z:
http://www.agroatlas.ru/ru/content/related/Haloxylon_ammmodendron/map/index.html
14. Obr.8. Webová stránka „Green Aral Sea“ In: greenaralsea.org [online]. [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <https://greenaralsea.org/>
15. Obr.9. Rozšíření *Haloxylon ammodendron* od mateřského porostu In: Salmukhanbetova a kol. 2021 [online]. [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <https://drive.google.com/file/d/1bUTluOgmUTtDgtr0n8J0MThMIVu1YIIH/view>
16. Obr.10. Mapa vodního stresu. In: [aqueduct](http://aqueduct.wri.org) [online] [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.wri.org/aqueduct>
17. Obr.11. Pesimistická prognóza Aralského moře v roce 2030 a 2040. In: [aqueduct](http://aqueduct.wri.org) [online] [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.wri.org/aqueduct>
18. Obr.12. Optimistické prognóza Aralského moře v roce 2030 a 2040. In: [aqueduct](http://aqueduct.wri.org) [online] [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.wri.org/aqueduct>
19. Obr.13. Mapa výskytu rizika sucha. In: [aqueduct](http://aqueduct.wri.org) [online] [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.wri.org/aqueduct>)

Webové stránky:

1. PlantUse. uses.plantnet-project.org [online]. [cit.2023-04-04]. Dostupné z: https://uses.plantnet-project.org/en/Calligonum_caput-medusae
2. AgroAtlas. AgroAtlas.ru [online]. © 2003-2009 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: http://www.agroatlas.ru/ru/content/related/Haloxylon_ammmodendron/
3. #GreenAralSea. greenaralsea.org [online]. © 2023 United Nations Development Programme [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://greenaralsea.org/faq>
4. Aqueduct. wri.org/aqueduct [online]. © 2023 World Resources Institute [cit. 2023-04-04]. Dostupné z <https://www.wri.org/aqueduct>
5. UNDP. undp.org [online]. © 2023 United Nations Development Programme [cit.2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.undp.org/>
6. Плантариум. plantarium.ru [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupný z: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/33413.html>
7. Арал: есть ли жизнь после смерти? In: YouTube [online]. 15.04.2021 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ULlxHUaFdx0&t=360s>. Kanál uživatele: Всё как у зверей?
8. Reforestation and China's Great Green Wall. In: YouTube [online]. 5.06.2021 [cit.2023-04-04]. Dostupné z: https://youtu.be/xC_2VpeunDo

