ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2017, том 1, № 1, с. 26-54

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 631.453

О ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ ЗАСОЛЕННОСТИ ПОЧВ И МЕТОДИКЕ КРУПНОМАСШТАБНОГО ЦИФРОВОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

© 2017 г. Е.И. Панкова, М.В. Конюшкова, И.Н. Горохова

Почвенный институт им. В.В. Докучаева
Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2. E-mail: pankova_ei@esoil.ru

В статье рассмотрено состояние проблемы оценки засоления и картографирования засоленных почв. Засоление – это свойство, которое лимитирует плодородие почв и определяет их экологическое состояние. Засоленные, в том числе засоленно-солонцовые почвы занимают около 20% площади сельскохозяйственных угодий России. В некоторых регионах (Калмыкия, Новосибирская область, Дагестан) площадь таких почв превышает 40-50% сельскохозяйственных угодий. Засоление – это динамичный процесс, требующий постоянного контроля и учета. В статье приведен обзор литературы, применяемой в России и ряде других стран по данной проблеме, а также по вопросу картографирования засоленных и засоленно-солонцовых почв, с применением материалов космической съемки и методов их цифровой обработки. Рассмотрен зарубежный опыт полевой диагностики засоления почв и цифрового картографирования, а также опыт российских ученых по созданию крупномасштабной почвенно-солевой карты на основе материалов космической съемки высокого разрешения (на примере Джаныбекского стационара в Прикаспийской низменности). Показаны современные возможности цифрового картографирования засоленных почв солонцовых комплексов. Работа направлена на совершенствование методики оценки и метода картографирования в целях учета площади распространения засоленных почв.

Ключевые слова: засоленные почвы, солонцы и солонцовые комплексы, картографирование почв, оценка засоленности почв.

Цель данной работы – обобщить материалы последних лет, касающиеся оценки засоленности почв, а также методов картографирования почв засоленных территорий России на локальном и региональном уровнях.

Известно, что засоленные, в том числе засоленные-солонцовые почвы широко распространены в южных регионах России (рис. 1). Они занимают около 20% площади сельскохозяйственных угодий (Почвенные ресурсы России, 2010), при этом в ряде регионов (Калмыкии, Астраханской, Новосибирской, Курганской, Омской и других областях) площадь засоленных почв (включая почвы солонцовых комплексов) достигает 40 и более процентов от площади сельскохозяйственных угодий (табл. 1). Таким образом, можно утверждать, что засоление – это одно из главных генетических и мелиоративных свойств аридных и семиаридных территорий России. В настоящее время процесс засоления рассматривается как один из основных деградационных процессов, ограничивающих плодородие почв засушливых территорий в разных странах мира и в том числе в России.

И. Сабольч в монографии «Моделирование процессов засоления и осолонцевания почв» (1980) приводит общую площадь засоленных почв мира, которая составляет более 950 млн. га, в том числе (в тыс. га): в Северной Америке – 17720, в Южной Америке – 129165, в Африке – 80538, Южной и Западной Азии – 211448, Юго-Восточной Азии – 21521, Австралии и Океании – 357508, Европе – 50804. В этой же монографии приведены сведения о площадях распространения засоленных почв в отдельных странах мира и на территории бывшего СССР.

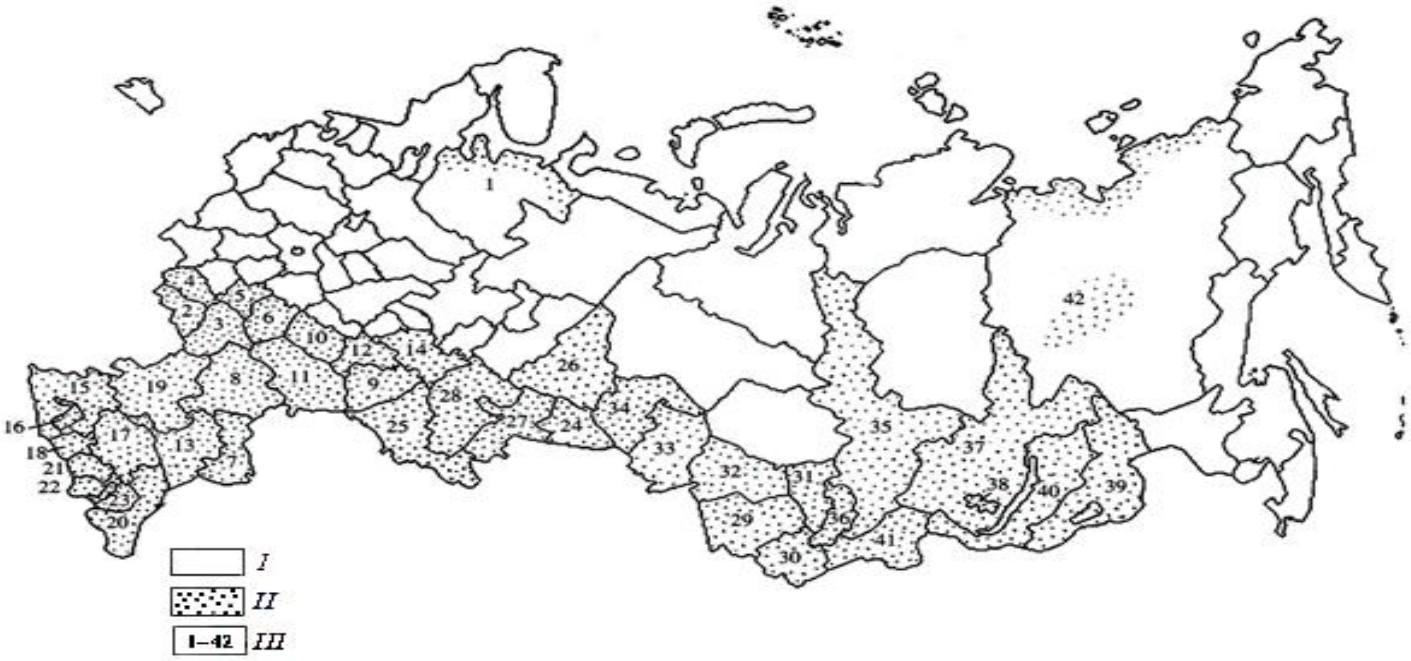

Рис. 1. Карта-схема распространения засоленных почв в пределах сельскохозяйственных угодий на территории субъектов РФ. Условные обозначения. I – Административные единицы РФ; II – Административные единицы, на территории которых распространены (встречаются) засоленные почвы; III – субъекты РФ: 1 – Архангельская область, 2 – Белгородская область, 3 – Воронежская область, 4 – Курская область, 5 – Липецкая область, 6 – Тамбовская область, 7 – Астраханская область, 8 – Волгоградская область, 9 – Самарская область, 10 – Пензенская область, 11 – Саратовская область, 12 – Ульяновская область, 13 – республика Калмыкия, 14 – республика Татарстан, 15 – Краснодарский край, 16 – республика Адыгея, 17 – Ставропольский край, 18 – Карачаево-Черкесская республика, 19 – Ростовская область, 20 – республика Дагестан, 21 – Кабардино-Балкарская республика, 22 – республика Северная Осетия, 23 – Чеченская и Ингушская республики, 24 – Курганская область, 25 – Оренбургская область, 26 – Свердловская область, 27 – Челябинская область, 28 – республика Башкортостан, 29 – Алтайский край, 30 – республика Алтай, 31 – Кемеровская область, 32 – Новосибирская область, 33 – Омская область, 34 – Тюменская область, 35 – Красноярский край, 36 – республика Хакасия, 37 – Иркутская область, 38 – Усть-Ордынский Автономный Бурятский округ, 39 – Читинская область, 40 – республика Бурятия, 41 – республика Тува, 42 – республика Саха (Якутия). **Fig. 1.** The schematic map of saline soils extension on Russian agricultural grounds. Legend. I – the administrative units, II – the administrative units with saline soils, III – the subjects of the Russian Federation: 1 – Arkhangelsk Oblast, 2 – Belgorod Oblast, 3 – Voronezh Oblast, 4 – Kursk Oblast, 5 – Lipetsk Oblast, 6 – Tambov Oblast, 7 – Astrakhan Oblast, 8 – Volgograd Oblast, 9 – Samara Oblast, 10 – Penza Oblast, 11 – Saratov Oblast, 12 – Ulyanovsk Oblast, 13 – Republic of Kalmykia, 14 – Republic of Tatarstan, 15 – Krasnodar Krai, 16 – Republic of Adygea, 17 – Stavropol Krai, 18 – Karachay-Cherkess Republic, 19 – Rostov Oblast, 20 – Republic of Dagestan, 21 – Kabardino-Balkar Republic, 22 – Republic of North Ossetia-Alania, 23 – Chechen and Ingushetia Republics, 24 – Kurgan Oblast, 25 – Orenburg Oblast, 26 – Sverdlovsk Oblast, 27 – Chelyabinsk Oblast, 28 – Republic of Bashkortostan, 29 – Altai Krai, 30 – Altai Republic, 31 – Kemerovo Oblast, 32 – Novosibirsk Oblast, 33 – Omsk Oblast, 34 – Tyumen Oblast, 35 – Krasnoyarsk Krai, 36 – Republic of Khakassia, 37 – Irkutsk Oblast, 38 – Ust-Orda Autonomic Buryat Okrug, 39 – Chita Oblast, 40 – Republic of Buryatia, 41 – Tuva Republic, 42 – Sakha (Yakutia) Republic.

Таблица 1. Распространение засоленных почв и почв солонцовых комплексов (тыс. га) в пределах с/х угодий административных областей России по данным на 01.01.1996 г. (Качественная характеристика …, 1996). **Table 1.** The distribution of salt-affected soils and solonetzic complexes (ths. ha) within agricultural lands of Russia administrative regions (as on 01.01.1996; Qualitative assessment …, 1996).

Административные единицы	**Площадь с/х угодий****	**Обследованная площадь с/х угодий**	**Площадь засоленных почв**	**Разделение засоленных почв по степени засоления**			**Площадь почв солонцовых комплексов**	**Процент участия солонцов в солонцовых комплексах**		
				очень сильно	**сильно**	**средне + слабо**		**<20%**	**20-50%**	**>50%**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
СЕВЕРНЫЙ РАЙОН:*	2259	2171.7	5.10	не опр.	2.4	2.7	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
Архангельская обл.	551.4	545	5.10	не опр.	2.4	2.7	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНЫЙ РАЙОН:	11664.5	11664.5	68.7	1.6	14.6	52.5	339.6	204.2	108.6	26.8
Белгородская обл.	1827.8	1827.8	0.2	не опр.	0.20	не опр.	44.3	35.4	7.4	1.5
Воронежская обл.	3594.5	3594.5	57	0.6	9.3	47.1	273.1	163.1	88	22
Курская обл.	2105.2	2105.2	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	1.40	не опр.	1.4	не опр.
Липецкая обл.	1731.5	1731.5	4.8	не опр.	0.6	4.2	9.1	2.2	6	0.9
Тамбовская обл.	2405.5	2405.5	6.7	1	4.5	1.2	12.7	4.5	5.8	2.4
Поволжский район:	35908.5	35885.8	5337.7	70.2	1596.4	3671.1	9719.6	3120.3	2834.5	3764.8
Астраханская обл.	2357	2353.8	937.1	9.8	199.7	727.6	679.7	237.6	205.1	237
Волгоградская обл.	7971.4	7971.4	1310.1	13.2	180.4	1116.5	3273	1144.1	1218.5	910.4
Самарская обл.	3359.7	3353.8	103.6	0.6	11.5	91.5	149.4	61.6	31.8	56
Пензенская обл.	2739.2	2737.4	19.1	не опр.	2.9	не опр.	20.6	4.4	3.2	13
Саратовская обл.	7877	7877	281.4	0.2	9.8	271.4	1233	467.1	411.1	354.8
Ульяновская обл.	2109.8	2109.8	6.5	не опр.	0.5	6.0	18.5	13.4	4.6	0.5
Республика Калмыкия	5421.4	5418	2653.2	43.2	1191.6	1418.4	4342.2	1187.7	961.4	2193.1
Республика Татарстан	4073	4064.6	26.7	3.2	не опр.	23.5	3.2	3.2	не опр.	не опр.

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
СЕВЕРО-КАВКАЗКИЙ РАЙОН:	22079.4	21840.4**	3272.6	154.7	745.8	2372.1	2575.6	1058.2	975.5	542.3
Краснодарский край	4209.8	4209.8	166.3	4.2	35.5	126.6	73.9	44.5	17.7	11.7
Республика Адыгея	280.4	275.3	2.1	не опр.	0.2	1.9	5.1	0.2	4.2	0.7
Ставропольский край	5382	5382	1180.3	18.0	241.5	920.8	769.5	339.4	213.9	216.2
Карачаево-Черкесская Республика	510	509.8	16.1	не опр.	0.2	15.9	14	13.9	0.1	не опр.
Ростовская обл.	7771.1	7771.1	305.1	12.4	62.5	230.2	1632.1	639	708.3	284.8
Республика Дагестан	2804.9	2746.4	1526.3	120.1	392.8	1013.4	81	21.2	30.9	28.9
Кабардино-Балкарская Республика	639	638.5	58.2	не опр.	2.9	55.3	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
Республика Северная Осетия	311.9	307.5	18.2	не опр.	10.2	8.0	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
Чеченская и Ингушская Республики	170.3	нет данных								
УРАЛЬСКИЙ РАЙОН:	29524.5	29270.2	1342.1	74.3	184.7	1083.1	3721	1178.5	738.7	1803.8
КУРГАНСКАЯ ОБЛ.	3894.2	3894.2	392.5	34.4	46.6	311.5	1128.6	194.6	97.5	836.5
ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛ.	9986	9986	632.1	2.2	91.3	538.6	1659.1	662.2	465.7	531.2
СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛ.	1973.2	1691.3	17	0.7	0.2	16.1	8.4	не опр.	0.9	7.5
ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛ.	3882.2	3760.2	274.6	36.2	41.1	197.3	894.1	309.4	171.6	413.1
РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН	5994.4	5994.4	25.9	0.8	5.5	19.6	30.8	12.3	3	15.5
ЗАПАДНОСИБИРСКИЙ РАЙОН:	29754.2	29243.8	5148.8	345.8	1076.1	3726.9	6396.3	2368.5	891.4	3136.4
АЛТАЙСКИЙ КРАЙ	9089.4	9082.4	982.7	44.9	204.6	733.2	807.2	367.6	145.3	294.3
РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ	1267.3	1079.4	52.8	4.5	4.0	44.3	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛ.	1994.6	1968.4	19.5	0.4	1.3	17.8	63.4	56.7	1.1	5.6
НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛ.	7285.6	7284.5	2146	167.6	556.6	1421.8	3013.1	1385.7	108.9	1518.5

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Омская обл.	5924.8	5924.8	1661.2	104.6	216.4	1340.2	1948.5	313.4	582.7	1052.4
Тюменская обл.	2900.6	2900.6	286.6	23.8	93.2	169.6	564.1	255.1	43.4	265.6
ВОСТОЧНО-СИБИРСКИЙ РАЙОН:	18231.5	17973.6	716	91.3	241.2	383.5	178.2	69.6	54.2	54.4
Красноярский край	4243.7	4193.6	31.9	6.9	5	20	27.4	4.4	17.1	5.9
Хакасия	1421.5	1421.5	124.8	22.6	53.5	48.7	59.6	6.1	15.8	37.7
Иркутская обл.	1438.8	1370	59.8	2.2	39.3	18.3	0.8	не опр.	0.8	не опр.
Усть-Ордынский Бурятский АО	722	716.4	29.5	1.8	0.2	27.5	1.8	не опр.	1.8	не опр.
Читинская обл.	5163.4	5163.4	128	11.5	0.4	116.1	59.9	53.6	3.9	2.4
Республика Бурятия	2169.9	2040.5	173.5	24.6	130.7	18.2	23.1	не опр.	14.8	8.3
Республика	3068.2	3068.2	168.5	21.7	12.1	134.7	5.6	5.5	не опр.	0.1
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ РАЙОН:	5302.9	5125.2	413.2	22.2	259.7	131.3	8.4	4.1	3.4	0.9
РЕСПУБЛИКА САХА	1165	1077.3	413.2	22.2	259.7	131.3	8.4	4.1	3.4	0.9
РОССИЯ	183416.3	181860.4 **	16304.2	760.1	4120.9	11423.2	22938.7	8012.6	5596.7	9329.4
НЕЧЕРНОЗЕМЬЕ	36718.5	36492.5	22.1	0.7	2.6	18.8	8.4	не опр.	0.9	7.5

Примечания к таблице 1: * – В каждом экономическом районе перечислены только те административные единицы, которые характеризуются наличием засоленных и солонцовых почв; ** – площадь с/х угодий и площадь обследованных с/х угодий экономических районов даны с учетом всех входящих в районы областей, краев и республик. **Notes to table 1:** * – within each region, only those administrative units are listed, which have saline and solonetzic soils; ** – the areas of every investigated agricultural lands of administrative regions are given with inclusion of all subregions (oblasts, krais, republics).

При этом И. Сабольч подчеркивал (Сабольч, 1980; Szabolcs, 1989), что эти цифры дают лишь ориентировочное представление о масштабе распространения засоленных почв в связи с неопределенностью самого понятия «засоленные почвы», а также в связи с различными методами, которые используют для анализа и учета таких почв в разных странах мира, поэтому приведенные выше данные плохо сопоставимы.

Анализируя состояние проблемы по оценке и учету засоленных почв на территории России на начало XXI века, можно констатировать следующее: сведения об оценке свойств и распространении засоленных почв, приведенные в публикациях последних лет, в том числе и

в публикации «Почвенные ресурсы России» (2010), опираются в основном на материалы середины и конца XX века. Несомненно, эти данные требуют обновления на основе современных методов и подходов.

В основу статьи положены разработки сотрудников отдела генезиса и мелиорации засоленных и солонцовых почв Почвенного института имени В.В. Докучаева, выполненные в плане работ института.

К числу задач, которые должны быть решены в первую очередь, мы относим две нижеприведенные.

1. Обновление единых методических рекомендаций по оценке засоления почв России. При этом необходимо учесть подходы к оценке засоления почв других стран мира, чтобы сделать данные о почвах России и других стран сопоставимыми. Такие методические рекомендации требуются для учета почв, а также для создания базы данных по засоленным почвам России, которая могла бы войти в единую базу данных по засоленным почвам мира.

2. Создание методики картографирования и учета площадей засоленных почв, которая должна базироваться на едином подходе к оценке засоления почв и на специальной методике по картографированию, основанной на анализе материалов дистанционного зондирования. Следует отметить, что на сегодняшний день такой методики, прошедшей проверку в зоне распространения засоленных почв в разных регионах России и мира, не существует. Некоторые подходы к созданию этой методики, основанные на современных дистанционных методах, были получены нами ранее на орошаемых землях Средней Азии (Методические рекомендации ..., 1985; Панкова, Соловьев, 1993; Панкова и др., 2016) и на орошаемых землях Европейской России (Горохова, 1992; Горохова и др., 1999). Наиболее проработан вопрос по картографированию и учету площадей целинных засоленных почв солонцовых комплексов Прикаспийского региона в диссертации М.В. Конюшковой (2010) и в ее монографии (2014). Перечисленные выше работы, а также материалы последних лет зарубежных исследователей мы планируем положить в основу разрабатываемых в настоящее время в Почвенном институте им. В.В. Докучаева подходов по оценке, картографированию и учету площадей засоленных почв.

1. Обзор литературы по теме: оценка и картографирование засоленных почв

1.1. История развития методов оценки и картографирования засоленных почв в Почвенном институте имени В.В. Докучаева

С момента образования Почвенного института им. В.В. Докучаева проблема изучения засоленных почв являлась одной из главных, разрабатываемых и поныне в стенах института. Здесь работали родоначальники этого направления почвенной науки: Б.Б. Полынов, В.А. Ковда, А.Н. Розанов, В.В. Егоров, И.Н. Антипов-Каратаев, Е.Н. Иванова, Н.И. Базилевич, Ф.И. Козловский, Б.А. Зимовец и многие другие сотрудники, которые создали школу почвоведов, занимающихся изучением, картографированием и мелиорацией засоленных и солонцовых почв. В настоящее время отдел генезиса и мелиорации засоленных и солонцовых почв остается одним из ведущих отделов института и ведущих коллективов страны, разрабатывающих эту тематику. Методы оценки засоления почв, предложенные сотрудниками отдела Н.И. Базилевич и Е.И. Панковой в 1960-х годах (Базилевич, Панкова, 1968, 1972), и в настоящее время остаются основными руководствами по оценке засоленных почв, которые используют в научных, учебных и производственных коллективах. Эти методы вошли во все инструкции, утвержденные Минсельхозом и Минводхозом СССР, а в настоящее время – России, а также в классификации почв СССР (1977) и России (2004).

В отделе генезиса и мелиорации засоленных почв были обобщены и усовершенствованы методы химического анализа засоленных почв (Хитров, Понизовский, 1990). Особое

внимание в последние годы Н.Б. Хитров уделяет полевой диагностике засоления почв (Хитров и др., 2013), а также внедрению методов оценки засоления, используемых за рубежом. Следует также назвать работы Н.Г. Минашиной (1979) по изучению и мелиорации гипсоносных почв.

Еще одно направление в изучении засоленных почв традиционно активно разрабатывается в отделе генезиса и мелиорации засоленных и солонцовых почв – это метод картографирования почв для учета занимаемых ими площадей. Первые карты засоления почв отдельных регионов России и страны в целом были созданы сотрудниками отдела: В.А. Ковда и Н.И. Конторская создали обзорные схематические карты распространения засоленных почв на территории СССР (Ковда, 1946; Кондорская, 1965). В 70-х годах XX века по программе ФАО была составлена первая карта типов химизма засоления почв СССР в масштабе 1:2500000 (1976). В создании карты участвовали сотрудники республиканских почвенных институтов, но программа работ и редактирование карты велись сотрудниками отдела генезиса и мелиорации засоленных почв под руководством В.В. Егорова и Н.И. Базилевич. Большим достижением сотрудников стало создание новой карты засоления почв России (2003), составленной на контурной основе Почвенной карты РСФСР в масштабе 1:2500000 под редакцией В.М. Фридланда (1988). На ней отображен процент участия засоленных почв и химизм засоления. При ее создании использовали информацию о засоленности почв, взятую с почвенно-мелиоративных карт М 1:500000 (Союзводпроект, 1987). Работу над оцифровкой и корректировкой новой карты засоления в 2009 году провели Н.Б. Хитров, Д.И. Рухович и другие.

Кроме создания мелкомасштабных карт засоления почв в отделе постоянно проводилась работа по совершенствованию картографирования засоления почв в крупных масштабах. Н.И. Базилевич и Е.И. Панкова участвовали в создании методических руководств по этой теме (Общесоюзная инструкция ..., 1973).

Еще в 1950-х годах М.С. Симакова (1959) разрабатывала проблему солонцов, впервые использовав аэрофотоснимки для картографирования почв солонцовых комплексов Прикаспийской низменности. Позже была издана методика составления крупномасштабных почвенно-мелиоративных карт солонцовых территорий (1985) под редакцией Э.А. Корнблюма. В 1980-е годы в отделе генезиса и мелиорации засоленных почв начали работы по усовершенствованию методики составления крупномасштабных карт засоления и солонцеватости целинных почв, где впервые использовали метод машинного дешифрирования аэрофотоснимков (Козловский, Королюк, 1980).

В это же время в Узбекистане, где находился опорный пункт – стационар Почвенного института им. В.В. Докучаева, начали разработку методики крупномасштабного картографирования засоленных орошаемых и целинных почв на основе материалов аэрофотосъемки. Эти работы завершились публикацией многочисленных статей и созданием «Методических рекомендаций по использованию материалов аэрофотосъемки для оценки засоления почв и проведения солевых съемок орошаемых территорий хлопкосеющей зоны в крупных и средних масштабах» (1985).

Позже на основе космических снимков создали карту засоления почв оазисов Средней Азии в масштабе 1:1000000 (Панкова и др., 1986).

Итогом многолетних работ в Среднеазиатском регионе стала публикация монографии Е.И. Панковой и Д.А. Соловьева «Дистанционный мониторинг засоления орошаемых почв» (1993). Позже вышла коллективная монография (Панкова и др., 1996), в которой дана характеристика и площади распространения и приведены карты засоления почв всех республик Средней Азии, входивших в бывший Советский Союз. Наибольшая ценность этой работы заключается в том, что в ней рассмотрены причины активизации процессов вторичного засоления почв, связанные с орошением, и приведены карты засоления почв.

Книга, изданная в 1990-х годах, не утратила своей актуальности и сегодня, о чем свидетельствует тот факт, что в 2010 году по указанным материалам в США опубликовали статью Е.И. Панковой и И.П. Айдарова на тему вторичного засоления почв Аральского бассейна (Pankova, Aidarov, 2010).

Следует также назвать ряд публикаций и направлений работ сотрудников отдела, выполненных в конце XX и в начале XXI вв., которые и в настоящее время представляют большой научный интерес и входят в многотомное издание «Международное руководство по орошению и дренажу засоленных почв», выпущенное под редакцией В.А. Ковды в 1966 году (Ковда, 2008). В этой работе обобщили достижения в области изучения и мелиорации почв разных стран мира по материалам зарубежных исследователей.

В 1990-х годах сотрудники Почвенного института участвовали в создании Международной энциклопедии по мелиорации засоленных почв, которая была издана в Лондоне в 2008 году.

Своеобразным итогом работы по изучению засоленных почв России в XX и начале XXI века стала монография «Засоленные почвы России» (2006). Авторский коллектив монографии состоял в первую очередь из сотрудников отдела: Е.И. Панковой, А.Ф. Новиковой, И.А. Ямновой, И.Н. Гороховой, Г.И. Черноусенко, Т.В. Королюк, а также сотрудников других институтов. В монографию включены мелкомасштабные карты засоленных почв по всем регионам России и характеристика почв.

В настоящее время отдел продолжает вести активную работу в области изучения засоленных почв и совершенствовании методов оценки и картографирования, которые заключаются в детальном картографировании (Хитров, 2005) и корректировке средне- и мелкомасштабных карт засоления почв на основе космических снимков (Черноусенко и др., 2016).

Настоящим прорывом в области крупномасштабного картографирования солонцовых комплексов стала диссертационная работа М.В. Конюшковой (2010) на тему: «Картографирование почвенного покрова и засоленности почв солонцовых комплексов на основе цифрового анализа космической съемки (на примере Джаныбекского стационара)». М.В. Конюшкова впервые провела работу по крупномасштабному картографированию почв солонцовых комплексов на основе космических снимков высокого разрешения и компьютерной технологии дешифрирования снимков, где были подсчитаны площади почв, которые характеризуются разным засолением. Эта работа должна быть положена в основу создания мониторинга и учета засоленных почв в России, что позволит получить объективную картину о площадях распространения засоленных и солонцовых почв в разных регионах страны.

1.2. Обзор зарубежной литературы по современным методам полевой оценки засоления почв и их цифровому картографированию

Проблема оценки засоления почв и их цифрового картографирования в настоящее время активно изучается во всем мире, о чем свидетельствует подробный обзор зарубежной литературы, приведенный в монографии М.В. Конюшковой «Цифровое картографирование почв солонцовых комплексов Северного Прикаспия» (2014).

При картографировании и мониторинге засоленных и солонцовых почв используют два основных подхода. Первый основан на оперативных измерениях засоления почв с помощью контактных методов (proximal sensing), к которым в основном относятся методы электромагнитной индукции (ЭМИ). Второй заключается в выявлении почвенно-ландшафтных связей в разных природно-мелиоративных условиях и составлении карт на основе этих связей. К этому направлению можно отнести методы традиционной и цифровой

картографии, дешифрирование космо- и аэроснимков.

Метод ЭМИ основан на полевом площадном измерении «мнимой» электропроводности (apparent electrical conductivity, ECa) с помощью портативного прибора, который переносят вручную либо устанавливают на прицеп трактора (рис. 2). Данные с прибора передают на портативный компьютер; координаты регистрируют в режиме реального времени с помощью навигатора GPS. Наибольшее распространение среди приборов, измеряющих электропроводность с помощью ЭМИ, получил кондуктометр EM-38 компании Geonics (Канада), который позволяет оценить засоленность в толще 1-1.5 м. Более подробно метод описан в работах D.L. Corwin, S.M. Lesch (2003, 2005) и A. Akramkhanov с соавторами (2014).

Среди подобных приборов все чаще применяют DUALEM-421, которым можно измерять ECa на 6 разных глубинах, что позволяет создавать многомерные (3-х и 4-х-мерные) модели распределения солей в почвах (Triantafilis, Monteiro Santos, 2013).

Рис. 2. Трактор, оборудованный кондуктометром EM-38 и навигатором с оперативной передачей данных на ноутбук (USDA Salinity Lab, Riverside, USA). **Fig. 2.** The tractor with conductometer EM-38, navigator and data passing from it to PC (USDA Salinity Lab, Riverside, USA).

Величина измеряемой в почве электропроводности зависит от засоленности почвенного раствора, пористости, типа и количества илистых частиц (Metternicht, Zinck, 2003). К существенному ограничению метода ЭМИ стоит отнести невозможность корректной оценки измерений при низкой влажности почв (т.е. в богарных условиях или при низкой влажности орошаемых почв) и неоднородном гранулометрическом составе почв и подстилающих пород. При отсутствии указанного ограничения метод позволяет дать оперативную и объективную оценку засоления на больших площадях в кратчайшие сроки. Сравнение данных, полученных с помощью метода ЭМИ, с лабораторными измерениями электропроводности экстракта почвенной пасты (образцов почв) показывает значения корреляции 0.74-0.78, при этом рисунок распределения значений полевых и лабораторных

данных очень схож (Corwin et al., 2003). Более высокую точность метод дает при сопряженном измерении влажности почв (Guo et al., 2013), в этом случае учет влажности позволяет разделить вклад засоления и влаги в итоговую электропроводность почв.

Использование этого метода положено в основу руководства по солевой съемке, которое было разработано в США и широко используется по всему миру (Soil salinity assessment …, 1999).

При изучении засоления почв по данным дистанционного зондирования опробован целый ряд спектральных индексов: интенсивности, яркости, засоления, вегетационные индексы (табл. 2). Подобные индексы часто более наглядно иллюстрируют связь между различными состояниями изучаемого объекта и его спектральными свойствами.

Таблица 2. Корреляция между спектральными индексами и засолением почв.
Table 2. The correlation between spectral indices and soil salinity level.

Источник	Район исследования	Спутник	Индекс	Корреляция
Индексы интенсивности (Intensity index)				
Douaoui et al., 2006	Lower Cheliff Plain (Алжир)	SPOT XS	$Int1 = \frac{G+R}{2}$	0.49
			$Int2 = \frac{G+R+NIR}{2}$	0.43
Bouaziz et al., 2011	Северо-восточная Бразилия	MODIS Terra	$Int1 = \frac{G+R}{2}$	0.32
			$Int2 = \frac{G+R+NIR}{2}$	0.36
Индексы яркости (Brightness index)				
Douaoui et al., 2006	Lower Cheliff Plain (Алжир)	SPOT XS	$BI = \sqrt{R^2 + NIR^2}$	0.31
Bouaziz et al., 2011	Северо-восточная Бразилия	MODIS Terra	$BI = \sqrt{R^2 + NIR^2}$	0.40
Allbed et al., 2014	Al-Hassa oasis (Саудовская Аравия)	IKONOS	$BI = \sqrt{R^2 + NIR^2}$	0.10-0.28
Индексы засоления (Salinity index)				
Douaoui et al., 2006	Lower Cheliff Plain (Алжир)	SPOT XS	$SI1 = \sqrt{G \times R}$	**0.50**
			$SI2 = \sqrt{G^2 + R^2 + NIR^2}$	0.44
			$SI3 = \sqrt{G^2 + R^2}$	**0.49**
Bouaziz et al., 2011	Северо-восточная Бразилия	MODIS Terra	$SI1 = \sqrt{G \times R}$	0.46
			$SI2 = \sqrt{G^2 + R^2 + NIR^2}$	**0.57**
			$SI3 = \sqrt{G^2 + R^2}$	0.44
			$SI-11 = \frac{SWIR1}{SWIR2}$	0.11
			$Aster_{SI} = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2}$	0.10
Abbas et al., 2013	District Faisalabad, Punjub (Пакистан)	IRS-1B LISS-II	$S1 = \frac{B}{R}$	0.64-0.82
			$S2 = \frac{B-R}{B+R}$	0.64-0.82
			$S3 = \frac{G \times R}{B}$	0.64-0.82

Продолжение таблицы 2.

Источник	**Район исследования**	**Спутник**	Индекс	Корреляция
-"-	**-"-**	**-"-**	$S4 = \sqrt{B \times R}$	**0.82**
Allbed et al., 2014	Al-Hassa oasis (Саудовская Аравия)	IKONOS	$SI - T = \frac{R}{NIR} \times 100$	**0.51-0.78**
			$SI = \sqrt{B \times R}$	0.21-0.50
			$SI1 = \sqrt{G \times R}$	0.20-0.49
			$SI2 = \sqrt{G^2 + R^2 + NIR^2}$	0.14-0.35
Allbed et al., 2014	Al-Hassa oasis (Саудовская Аравия)	IKONOS	$SI3 = \sqrt{G^2 + R^2}$	0.20-0.49
			$S1 = \frac{B}{R}$	-0.23 - -0.59
			$S2 = \frac{B - R}{B + R}$	-0.23 - -0.58
			$S3 = \frac{G \times R}{B}$	0.20-0.50
			$S5 = \frac{B \times R}{G}$	0.22-0.51
			$S6 = \frac{R \times NIR}{G}$	0.02-0.14
			$NDSI = \frac{R - NIR}{R + NIR}$	**0.51-0.77**
Вегетационные индексы (Vegetation index)				
Douaoui et al., 2006	Lower Cheliff Plain (Алжир)	SPOT XS	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$	0.00
			$DVI = NIR - R$	0.03
			$WDVI = NIR - a \cdot R$	0.08
			$PVI = \frac{NIR - (a \cdot R + b)}{\sqrt{1 + a^2}}$	0.08
			$TSAVI = \frac{a \cdot (NIR - (a \cdot R + b}{R + a \cdot (NIR - b) + 0.08(}$	0.09
Bouaziz et al., 2011	Северо-восточная Бразилия	MODIS Terra	$SAVI = \frac{(NIR - R) \times (1 + L)}{(NIR + R + L)}$	0.27
			$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$	0.23
			$EVI = 2.5 \times \frac{(NIR - R)}{NIR + c1 \times R - c2 \times B}$	0.37
Allbed et al., 2014	Al-Hassa oasis (Саудовская Аравия)	IKONOS	$SAVI = \frac{(NIR - R) \times (1 + L)}{(NIR + R + L)}$	**-0.51 - -0.78**

Примечания к таблице 2: Полужирным шрифтом выделены спектральные индексы, для которых в публикациях была выявлена максимальная корреляция с засолением почв. Условные обозначения: B, G, R, NIR, SWIR – отражение в голубом, зеленом, красном, ближнем инфракрасном, коротковолновом инфракрасном канале, соответственно; a, b – коэффициенты почвенной линии; Int1 – интенсивность в видимой зоне спектра; Int2 –

интенсивность в видимой/инфракрасной зоне спектра; SI1 – индекс засоления №1; SI2 – индекс засоления №2; SI3 – индекс засоления №3; SI-11 – индекс засоления №11; SI, S1, S2, S3, S4, S5, S6, SI-T – индексы засоления; Aster_SI – индекс засоления ASTER; BI – индекс яркости; DVI – разностный вегетационный индекс; EVI – улучшенный вегетационный индекс; NDVI – нормализованный разностный вегетационный индекс; NDSI – нормализованный разностный индекс засоления; PVI – перпендикулярный вегетационный индекс; SAVI – вегетационный индекс с поправкой на почву; TSAVI – трансформированный вегетационный индекс с поправкой на почву; WDVI – взвешенно-разностный вегетационный индекс; L – константа, поправочный коэффициент, учитывающий влияние нелинейного дифференциального прохождения электромагнитного потока (в красном и ближнем инфракрасном диапазоне) через растительный покров (при расчете SAVI=0.5, при расчете EVI=1); c1 и c2 – коэффициенты, учитывающие рассеяние атмосферными аэрозолями за счет использования голубого канала съемки, корректирующего влияние аэрозолей на красный канал (c1=6, c2=7.5). **Notes to table 2:** bold font marks the spectral indices, which show the maximum correlation with soil salinity level, according to this specific publication. Legend: B, G, R, NIR, SWIR – reflectance in blue, green, red, near infrared and short-wave infrared bands, respectively; a, b – coefficients of soil line; Int1 – intensity in the visible spectrum; Int2 – intensity in the visible/infrared spectrum); SI1 – salinity index №1; SI2 – salinity index №2; SI3 – salinity index №3; SI-11 – salinity index №11; SI, S1, S2, S3, S4, S5, S6, SI-T – salinity indices; Aster_SI – ASTER salinity index; BI – brightness index; DVI – difference vegetation index; EVI – enhanced vegetation index; NDVI – normalized difference vegetation index; NDSI – normalized difference salinity index; PVI – perpendicular vegetation index; SAVI – soil-adjusted vegetation index; TSAVI – transformed soil-adapted vegetation index; WDVI – weighted difference vegetation index; L – canopy background adjustment factor which addresses non-linear, differential NIR and red radiant transfer through a canopy (SAVI=0.5,EVI=1); c1 и c2 – coefficients of the aerosol resistance term, which uses the blue band to correct for aerosol influences in the red band (c1=6, c2=7.5).

Значение корреляции между уровнем засоленности почв и значением индекса определяют в зависимости от того, изучается поверхность открытая или занятая растительностью. В случае открытой поверхности засоление почв не связано с вегетационными индексами и коррелирует с индексами, рассчитанными на основе суммирования или перемножения яркостей отражения в видимой и ближней инфракрасной зоне спектра. Это обусловлено тем, что для засоленных почв существует закономерность увеличения отражательной способности в видимом (особенно в голубом) и ближнем инфракрасном диапазоне при увеличении степени засоления (Csillag et al., 1993; Rao et al., 1995). Эта закономерность нарушается при разном состоянии поверхности засоленных почв: увлажнении, разрушении солевой корки в результате трещинообразования или вытаптывания, разном минералогическом составе солевых корок (Mougenot et al., 1993; Metternicht, Zinck, 2003; рис. 3).

Если поверхность засоленных почв закрыта растительностью, то часто наблюдают высокую корреляцию степени засоления почв с вегетационными индексами и индексами, рассчитанными на основе соотношения яркости в красном и ближнем инфракрасном каналах, т.к. такие индексы отражают состояние растительности: плохое в случае более высокого засоления, хорошее в случае низкого засоления (рис. 4). Подходы к дистанционной оценке засоления почв по данным NDVI или по состоянию растительности (в первую очередь, сельскохозяйственных культур) предложены во многих работах, а также в работах N. Fernandez-Buces с соавторами (2006), «Indo-Dutch network project …» (2002), C.L. Wiegand с соавторами (1994).

Для засоленных почв, на которых произрастает галофитная естественная растительность (*Salicornia, Spartina, Suaeda, Salsola* и др.), связь между вегетационным индексом и засоленностью почв слабая, в отличие от относительно менее солевыносливых культур, таких как хлопок, кукуруза и тростник (Zhang et al., 1997; Zhang et al., 2011; рис. 5).

Подходы к картографированию и мониторингу почв солонцовых комплексов на основе данных дистанционного зондирования разработаны не так подробно, как в случае оценки засоленности почв, но, тем не менее, представлены в публикациях. В основу подходов положен тот факт, что на разных почвах, входящих в состав солонцового комплекса, развиваются разные растительные ассоциации, а состояние растительности тесно связано с проявлением в почвах солонцеватости и засоленности (Toth et al., 1991; Toth и Pasztor, 1996; рис. 6).

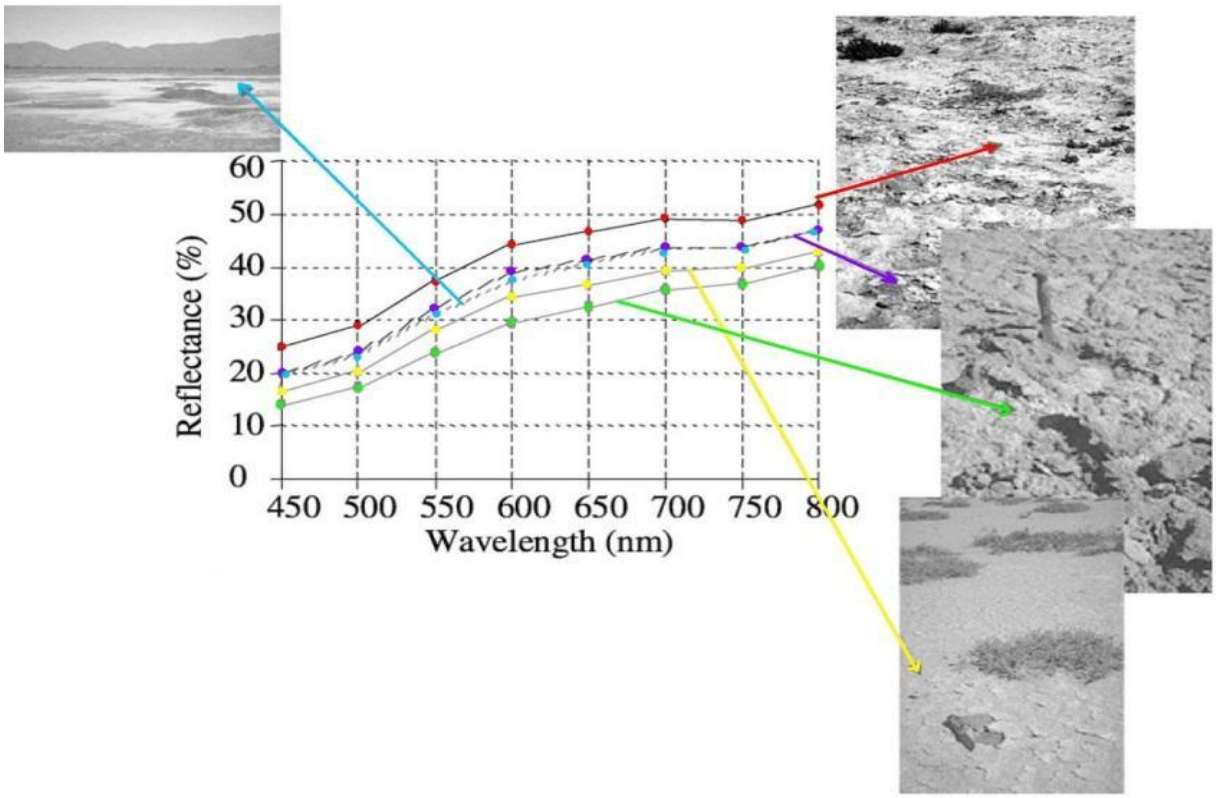

Рис. 3. Влияние состояния поверхности солевых корок на отражательную способность, наземные измерения сделаны с помощью радиометра Crop Scan (Metternicht, Zinck, 2003). Условные обозначения: красный – пышная корка (осень сильное засоление); фиолетовый – потрескавшаяся пышная корка (очень сильное засоление); голубой – без корки (очень сильное засоление); желтый – очень сильно засоленная корка (коричневато-желтая, 10YR 6/5); зеленый – очень сильно засоленная корка (бледно-коричневый, 10YR 6/3).

Fig. 3. The influence of saline crusts' top on the reflectivity; the terrestrial measuring were made with radiometer Crop Scan (Metternicht, Zinck, 2003). Legend: red – puffy crust (very strong saline); purple – cracked puffy crust (very strong saline); blue – not crusted (very strong saline); yellow – very strong saline crust (brownish yellow 10YR 6/5); green – very strongly saline crust (pale brown 10YR 6/3).

Аналогичные подходы использовали и российские специалисты (Конюшкова, Вышивкин, 2009; Конюшкова, 2014), которые исследовали солонцовые комплексы Северного Прикаспия с использованием детальных космических снимков (Quickbird,

GeoEye, Pleiades), с помощью различий в значениях вегетационного индекса (повышенного для лугово-каштановых почв за счет густого покрова злаково-разнотравной растительности) и отражении в ближнем инфракрасном канале (пониженного для солонцов за счет напочвенного покрова из мхов, лишайников, ветоши). Инструкция по составлению цифровой почвенной карты солонцовых комплексов Северного Прикаспия на основе автоматизированного дешифрирования детальных спутниковых снимков приведена в сборнике упражнений по цифровой почвенной картографии (Цифровая почвенная картография …, 2017; рис. 7).

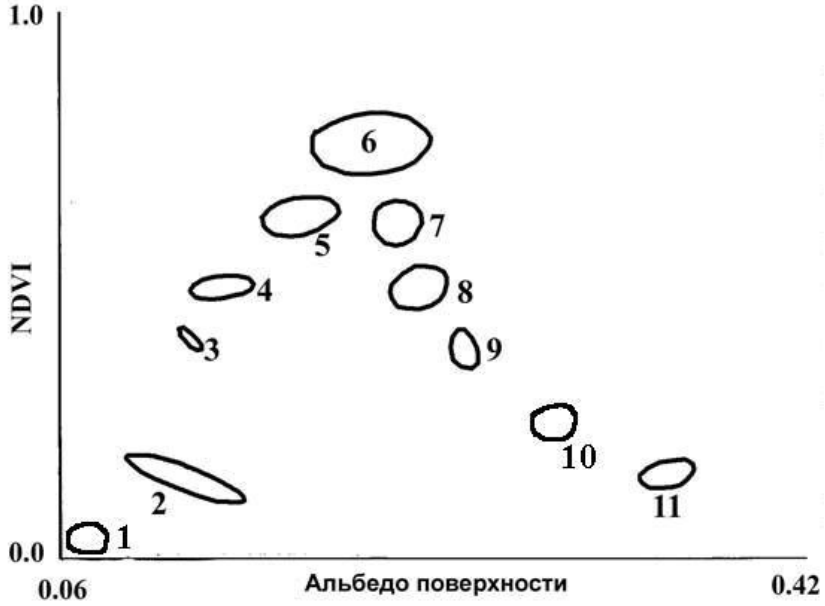

Рис. 4. Зависимость между альбедо и вегетационным индексом NDVI различных категорий почв. Условные обозначения: 1 – вода; 2 – переувлажненные целинные территории; 3 – сильно переувлажненные с/х участки; 4 – средне переувлажненные; 5 – слабо переувлажненные; 6 – слабозасоленные с/х участки; 8 – среднезасоленные; 9 – сильнозасоленные; 10 – обнаженная поверхность; 11 – солончаки (Indo-Dutch network project …, 2002). **Fig. 4.** The dependence between albedo and vegetation index NDVI of different soil types. Legend: 1 – water; 2 – overwetting virgin areas; 3 – strongly overwetting agricultural areas; 4 – normally overwetting; 5 – weakly overwetting; 6 – agricultural zones without salinization or overwetting; 7 – weakly saline areas ; 8 – normally saline; 9 – strongly saline; 10 – exposed surface; 11 – salt-marsh.

2. Современные разработки Почвенного института им. В.В. Докучаева по совершенствованию методики оценки и картографированию засоленных почв

В настоящее время в отделе генезиса и мелиорации засоленных и солонцовых почв ведут работы по созданию нового варианта методических рекомендаций по оценке засоленности почв. Для этого были детально проанализированы следующие материалы: «Методические указания по учету засоленных почв» (Базилевич, Панкова, 1968); «Методические рекомендации по мелиорации солонцов и учету засоленных почв» (1970); «Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям» (1973); «Составление крупномасштабных почвенных карт с показом структуры почвенного покрова» (1989) – и другие работы, в которых даны рекомендации по оценке засоленности почв и методам их картографирования. Наряду с отечественной литературой проанализированы работы, в которых изложены

методы и подходы, принятые за рубежом: «Soil survey investigations for irrigation» (Richards, 1954), «Soil survey Laboratory methods manual» (1979), «Soil survey investigation Report» (2004), а также «Руководство по описанию почв» (2012).

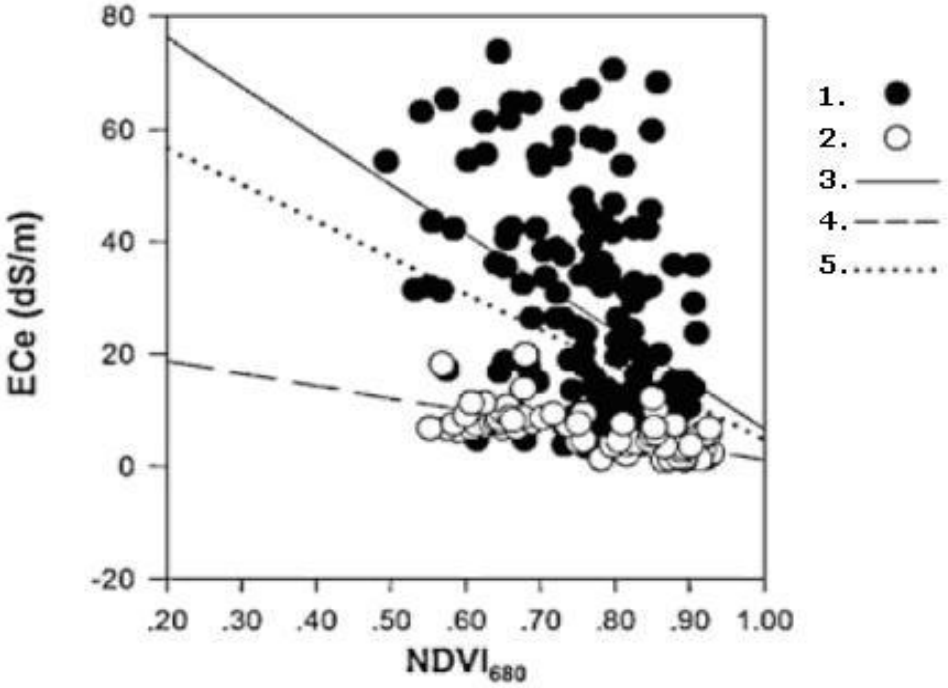

Рис. 5. График рассеяния между значениями NDVI для разных групп растений: галофитов и солевыносливых культур; измерения сделаны с помощью полевого гиперспектрального радиометра и электропроводности экстракта из пасты (ECe). Условные обозначения: 1 – галофиты, 2 – солевыносливые культуры, 3 – линия регрессии для галофитов, 4 – линия регрессии для солевыносливых культур, 5 – линия регрессии для всех видов (Zhang et al., 2011). **Fig. 5.** The graphic of diffusion between NDVI values for different vegetation groups (halophytes and salt-resistant cultures); the measuring was made with field hyperspectral radiometer and electro conductivity of paste's extract (ECe). Legend: 1 – halophyte species, 2 – salt-sensitive species, 3 – regression line for halophyte species, 4 – regression line for salt-sensitive species, 5 – regression line for all species (Zhang et al., 2011).

2.1. Обновление рекомендаций по характеристике и картографированию засоленности почв

Первая часть работы касается обновления существующих методик по характеристике засоленности почв на основе данных химических анализов. Известно, что морфологическая оценка засоленных почв, особенно при слабой и средней степени засоления, невозможна. В основу оценки положены опубликованные ранее работы Н.И. Базилевич и Е.И. Панковой по характеристике засоленности почв по токсичным солям (1972). Эти работы дополнены материалами, приведенными в монографии «Засоленные почвы России» (2006) в разделе «Диагностика и критерии оценки засоленности почв» (авторы раздела Е.И. Панкова, Л.А. Воробьева). Кроме того, в работе «Теоретические и методические основы предотвращения опустынивания и деградации почв» Н.Б. Хитров с соавторами (2013) опубликовал раздел, в котором изложил подходы и методы оценки засоленности и солонцеватости почв. Обобщение указанных материалов, в том числе в аналогичной зарубежной литературе, позволило обновить и дополнить существующие рекомендации по оценке засоленности почв, принятые в России.

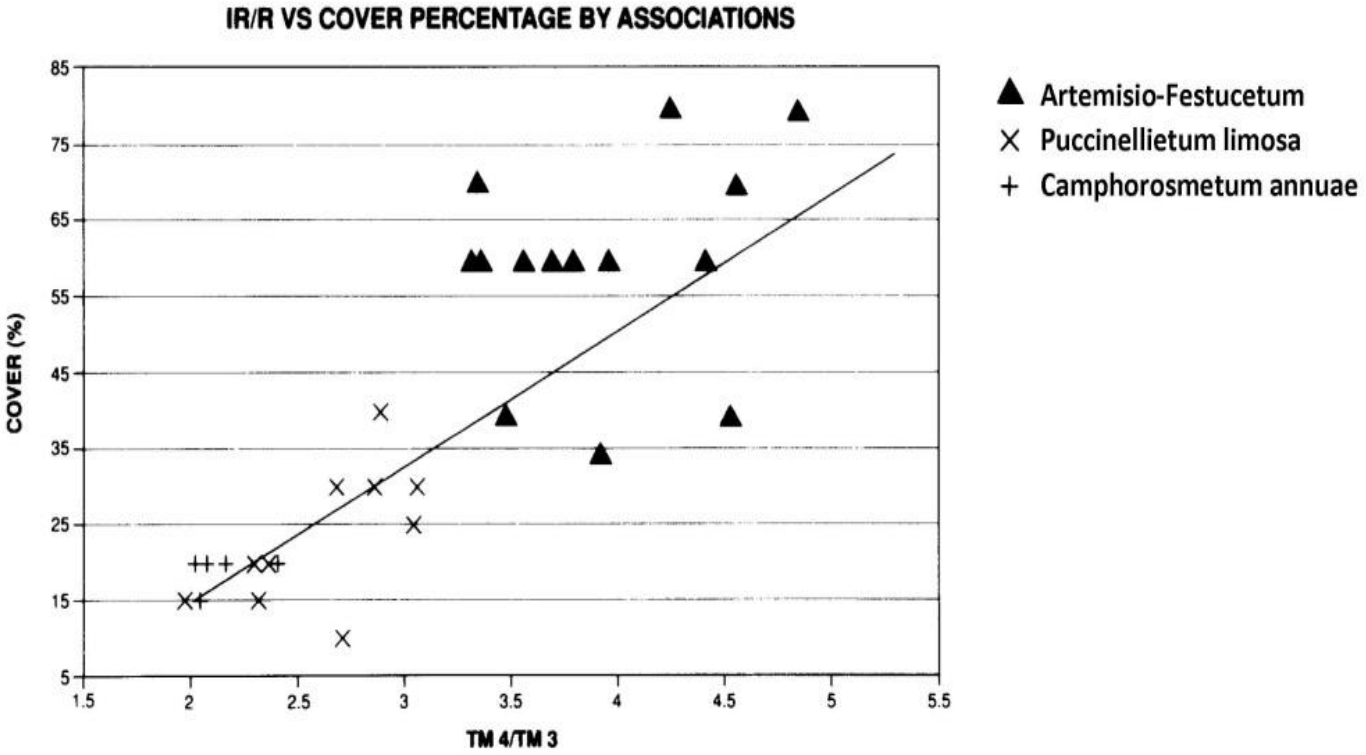

Рис. 6. Диаграмма рассеивания между значениями тематического картографа ТМ4/ТМ3 (760-900 нм/630-690 нм – каналы диапазона съемки по снимку Landsad) и относительного проективного покрытия для разных растительных ассоциаций солонцовых комплексов Венгрии; спектральные измерения проводились с помощью радиометра Exotech-100 (Toth et al., 1991). **Fig. 6.** The diagram of diffusion between the values of thematic mapper TM4/TM3 (760-900 nm/630-690 nm) and relative projected area for different vegetation communities of Hungarian solonez complexes. The spectral measuring were made with radiometer Exotech-100 (Toth et al., 1991).

Вторая часть рекомендаций посвящена картографированию и учету площадей засоленных почв солонцовых комплексов, характеризуемых разной степенью засоления. В основу этого раздела положены разработки М.В. Конюшковой, основанные на результатах ее диссертации «Картографирование почвенного покрова и засоленности почв солонцового комплекса на основе цифрового анализа космической съемки (на примере района Джаныбекского стационара» (2010) и монографии «Цифровое картографирование почв солонцовых комплексов Северного Прикаспия» (2014). Материалы, полученные в Джаныбеке, были проверены на других объектах Прикаспийской низменности. Оглавление первой части методических рекомендаций представлено в таблице 3.

Дано определение понятия засоленных почв: «засоленные почвы – это почвы, в которых основным фактором, лимитирующим плодородие, является наличие в их профиле легкорастворимых солей в количестве, ограничивающем возможности использования этих почв для выращивания большинства сельскохозяйственных культур».

В настоящее время для оценки засоленности почв используют разные методы. В России и ряде других стран широко распространен метод водных вытяжек (1:5; Воробьева, 1998). За рубежом, в США и других странах Западной Европы, использую метод оценки по электропроводности вытяжек из водонасыщенных паст, полученных при влажности, которая соответствует наименьшей влагоемкости (Richards, 1954). При каждом из этих методов из почвы извлекают разное количество легкорастворимых солей. Вытяжка из водонасыщенных

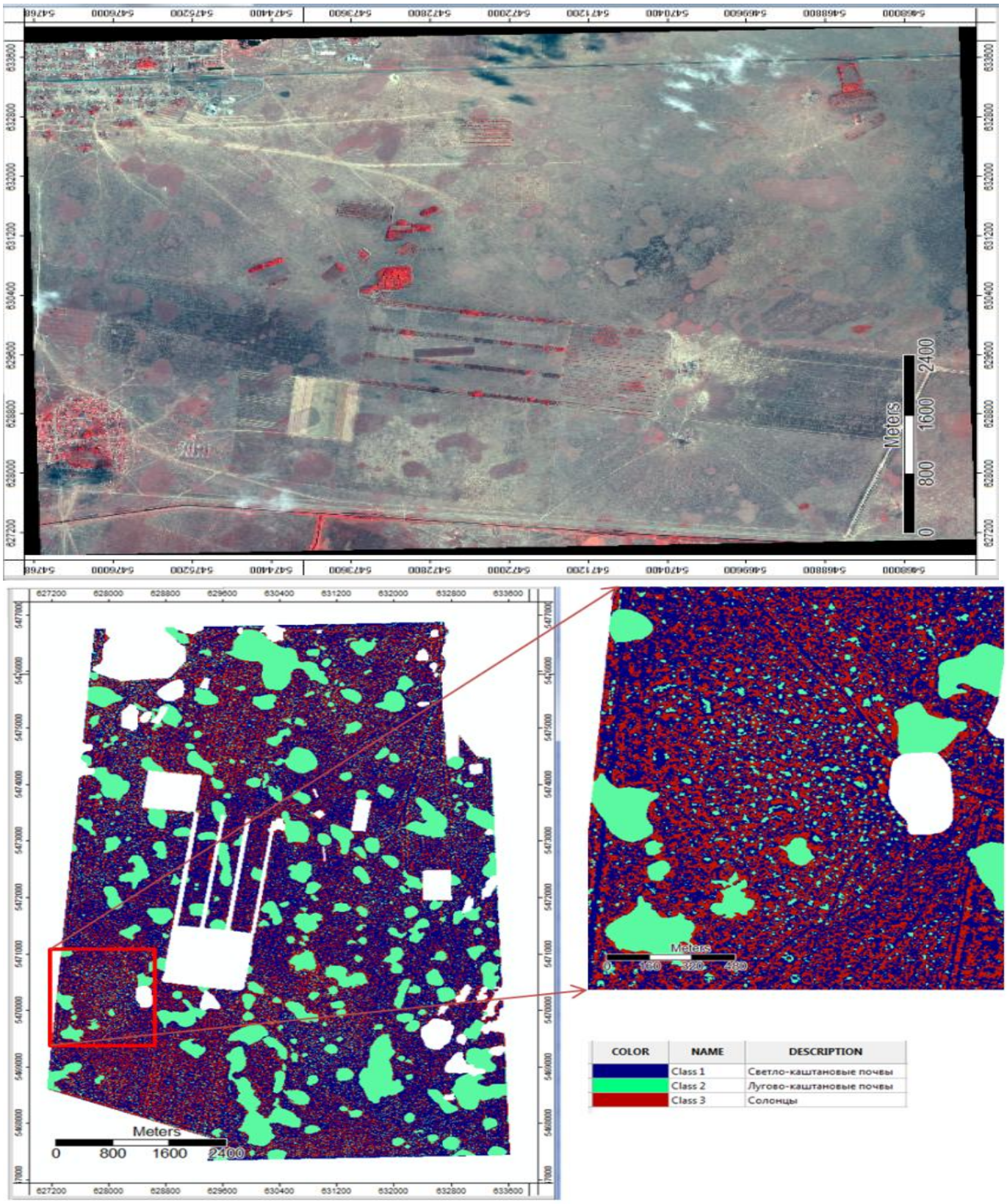

Рис. 7. Пример цифровой почвенной карты солонцового комплекса, созданной на основе автоматической обработки снимка Quickbird (Цифровая почвенная картография …, 2017).
Fig. 7. An example of digital map of soils of the solonetz complex, based on the automatic processing of the Quickbird image.

Таблица 3. Содержание новых методических рекомендаций по оценке засоленности почв.
Table 3. The contents of the new methodological recommendations on soil salinity assessment.

Введение	
Часть I. Показатели и критерии оценки основных свойств засоленных почв	
Глава 1	Засоленные почвы: понятия и перечень показателей химического состояния
Глава 2	Методы, показатели и критерии оценки засоленности почв
	2.1. Оценка засоленности почв по результатам анализа методом водной вытяжки (почва: вода - 1:5)
	2.1.1. Расчет токсичных солей
	2.1.2. Химизм засоления и его оценка
	2.1.3. Оценка степени засоленности почв
	2.1.3.1. Оперативная оценка степени засоления
	2.1.3.2. Средневзвешенное содержание и запасы солей в слое почвы - как показатели степени засоления почв
	2.2. Оценка засоленности почв по результатам анализа методом насыщенных водой (водонасыщенных) почвенных паст
	2.2.1. Оценка засоленности почв по удельной электропроводности фильтратов из водонасыщенных паст
	2.2.1.1. Оценка засоленности почв в полевых условиях по удельной электропроводности водных почвенных суспензий
Глава 3	Оценка засоленности почв по распределению солей в почвенном профиле
	3.1. Оценка засоленных почв по глубине залегания верхней границы солевого горизонта
	3.2. Типы солевых профилей засоленных почв
Глава 4	Диагностика солонцов и солонцеватых почв
	4.1. Разделение солонцов на виды по мощности надсолонцовых горизонтов и содержанию обменного натрия в солонцовом горизонте
Глава 5	Оценка почв по гипсоносности
Глава 6	Оценка почв по карбонатности
Глава 7	Положение засоленных почв в классификации почв России
Приложения:	
1. Единицы величин, используемые при оценке свойств засоленных почв	
2. Минералы солей в твердых фазах почв	
3. Зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от содержания солей в почвах или оросительных водах	
4. Методы извлечения из почв легкорастворимых солей и оценка засоления почв	
5. Щелочность почв: природа и показатели	
Словарь	
Литература	

паст извлекает главным образом соли, находящиеся в почвенном растворе, а водная вытяжка (1:5) извлекает легкорастворимые соли, находящиеся не только в почвенном растворе, но и в твердой фазе почвы, а также частично в почвенном поглощающем комплексе. Помимо

легкорастворимых солей в водную вытяжку переходит и некоторое количество труднорастворимых солей: гипса и карбонатов. Тем не менее, метод водных вытяжек широко используется в России и других странах (например, в Австралии).

Предложенный Н.И. Базилевич и Е.И. Панковой с соавторами (1972) расчет токсичных солей по данным водной вытяжки (1:5) позволяет сблизить результаты оценки засоленности почв, которые основаны на данных водной вытяжки и вытяжки из водонасыщенных паст.

Была проделана специальная работа для того, чтобы установить, возможно ли сопоставить данные о засоленности почв, полученные методом водной вытяжки (1:5) и экстракта из водонасыщенных паст (Копикова, Скулкин, 1990). Итог показал, что при характеристике засоленности почв по токсичным солям для почв суглинистого состава эти данные в большинстве своем сопоставимы, хотя очевидно, что при использовании разных методов оценки засоленности почв расхождения неизбежны (табл. 4).

Таблица 4. Уровни засоления гипсоносных почв хлоридно-сульфатного химизма с низкой емкостью поглощения (Копикова, Сколкин, 1990). **Table 4.** The levels of gypsiferous soils' salinity with chloride-sulfate salinity and low exchange capacity (Копикова, Сколкин, 1990).

Уровень засоления	Потери урожая, %	Водная вытяжка					Насыщенный экстракт*			
		S токсичных солей		χ мСм/см	Na+	Cl-	S солей	χ мСм/см	Na+	Cl-
		%	ммоль (экв.)/100 г		ммоль (экв.)/100 г					
Отсутствует (незасоленные)	10	0.15	8.5	1	1	0.5	80/5	3	17/0.3	9/0.25
Низкий (слабозасоленные)	10-2	0.30	14	1.5	3	1.5	150/8	5	40/0.8	25/0.5
Средний (среднезасоленные)	29-50	0.6	25	2.5	6	2.5	300/14	10	90/2	50/1.2
Высокий (сильнозасоленные)	50-70	1	40	3.5	11	4	450/22	16	150/3	80/2
Очень высокий (очень сильнозасоленные)	70	1	40	3.5	11	4	450/22	16	150/3	80/2

Примечания к таблице 4: * – числитель – ммоль (экв.)/л; знаменатель – ммоль (экв.)/100 г.
Notes to table 4: * – numerator, mmol (Eq)/l; denominator, mmol (Eq)/100 g.

Большое внимание в новых методических рекомендациях уделено определению засоленности почв по сокращенной водной вытяжке, а также по отдельным ионам, а при оценке химизма засоления – разделению почв щелочного и нейтрального засоления. При этом среди щелочных почв выделены содовые почвы, а также щелочные несодовой природы (Воробьев, Заман, 1984). Засоленность почв оценивают также по строению солевого профиля: глубине расположения верхнего солевого горизонта, химизму и степени засоленности не только отдельных горизонтов, но и профиля засоленной почвы в целом.

Особое внимание уделено полевой диагностике засоленности почв, оцениваемой по электропроводности водонасыщенных почвенных паст. При этом рекомендуется

обязательное введение поправок на гранулометрический состав и гумусированность засоленных почв (Руководство по описанию почв, 2012).

В разрабатываемых методических рекомендациях даны критерии оценки засоленных почв по гипсоносности и карбонатности. Известно, что засоленные почвы в большинстве своем содержат в своем профиле гипс и карбонаты (труднорастворимые соли), которые определяют мелиоративные свойства засоленных и засоленно-солонцовых почв, и потому засоление почв обязательно характеризуется по этим показателям.

В заключительной части методических рекомендаций определено место засоленных почв в почвенных классификациях, принятых в настоящее время в России. Это классификация 1977 и 2004 гг. Дан перечень засоленных почв, входящих в классификацию и номенклатуру почв в «Единый государственный реестр почвенных ресурсов России» (2014).

Первая часть методических рекомендаций завершается приложениями, поясняющими некоторые вопросы, рассмотренные в рекомендациях. В частности, они касаются: солеустойчивости культур; характеристики минеральных солей, находящихся в твердой фазе почв; различий в методах извлечения легкорастворимых солей из почвы; природы и показателей щелочности почв; словаря терминов, используемых при характеристике засоленности почв.

2.2. Методические рекомендации по составлению крупномасштабных почвенных карт на основе материалов космической съемки

Вторая часть работы представлена методическими рекомендациями по крупномасштабному картографированию для учета площадей засоленных почв солонцовых комплексов юга Европейской России.

В основу рекомендаций данного раздела положены разработки М.В. Конюшковой (2014). Ею были описаны подходы к составлению крупномасштабной почвенной карты засоленности целинных территорий на основе космических снимков и их цифровой обработки. Процесс создания цифровой почвенной карты начинается с подбора наиболее информативных снимков и проверки дешифровочных признаков в поле для получения достоверной информации о почвенном покрове и отдельных свойствах почв, например, таких как засоленность почв.

Объектом исследования являлся почвенный покров Прикаспия с мелкой контурностью почвенных ареалов, представленных: 1) на буграх – солонцами сильнозасоленными; 2) в западинах – незасоленными высокогумусированными лугово-каштановыми почвами; 3) на склонах бугров – каштановыми почвами разной степени солонцеватости и засоленности. При этом была установлена четкая связь между составом и состоянием растительности и почвами (Конюшкова, Вышивкин, 2009). Это определило особую эффективность использования данных мультиспектральных космических снимков Quickbird с разрешением (2.4 м) для картирования почв солонцовых комплексов с использованием NDVI, когда контрастность растительного покрова в сухостепной зоне проявляется наиболее отчетливо.

Процесс создания крупномасштабной почвенной карты с отражением на ней засоленности почв состоял из нескольких технологических шагов.

1. Разработка или проверка дешифровочных признаков. Здесь предполагаются полевые исследования на трансектах (длинной 130-150 м), точно привязанных к изображению на снимках, с пошаговым (через 1 м) отбором почвенных образцов для характеристики почв и их засоления.

2. Совмещение полевой и дистанционной информации.

3. Статистический анализ связи между дистанционными и наземными данными, выбор информационных спектральных параметров для разделения почв на снимке.

4. Построение карт с помощью дискриминантного анализа.

5. Генерализация карты дешифрирования (кластерный анализ).

6. Проверка карты в поле.

Указанный подход был реализован при составлении карты района Джаныбекского стационара. Ниже представлены материалы, иллюстрирующие основные этапы работы по созданию крупномасштабной почвенной карты засоленности целинных территорий.

I. Предполевой этап включает:

1) сбор данных об объекте исследований;

2) приобретение космических снимков, которые должны иметь детальное разрешение (2-3 м) в многоканальном режиме съемки, должны быть выполнены в позднелетний-раннеосенний сезон (август-сентябрь) – наиболее информативный период для целинных территорий юга Европейской России; должны быть не более 1-2-летней давности;

3) предварительную обработку космических снимков для выделения земель разного использования (целинных территорий, пастбищ, залежей и лесопосадок), а также проведение районирования по процентному участию пятен незасоленных почв, которые хорошо выделяются по растительности на космическом снимке при автоматизированной их обработке (диагностируются по высоким значениям NDVI;

4) наметку маршрутов для полевых исследований и мест заложения трансект или ключей для характеристики почвенного покрова районов.

Результатом предполевого этапа является карта землепользования (рис. 8), карта распространения незасоленных почв и карта неоднородности изображения. В качестве иллюстрации приводим рисунки из работы М.В. Конюшковой (2014).

Создание карты землепользования необходимо, т.к. разработанные методы относятся не только к целинным землям, но и другим угодьям.

Далее на основе классификации снимков создают карту незасоленных почв. Алгоритм разработан на базе большого массива сопряженных наземно-дистанционных данных и включает фильтрацию снимка с NDVI (фильтр average) и выделение пикселей, имеющих значения выше среднего (рис. 9). В результате классификации получаем карту распространения незасоленных темноцветных почв.

Затем в классификацию снимков были включены коэффициенты дискриминантного анализа, по результатам которого создается карта неоднородности изображения для выделения других классов почв.

II. Полевой этап. Полевые исследования предлагается проводить методом трансект, длина которых в среднем должна быть в 3-4 раза больше, чем линейный размер элементарной почвенной структуры (ЭПС). Для солонцовых комплексов Северного Прикаспия характерным размером ЭПС является 30-50 м, длина трансекты в этом случае должна быть 90-150 м.

В контрастных компонентах комплекса закладывают полнопрофильные разрезы и отбирают образцы для дальнейших анализов. Объем полевой информации должен соответствовать общепринятым нормативам и быть достаточным для получения информации о засоленных почвах.

III. Заключительный камеральный этап включает статистический анализ наземной и дистанционной информации для выявления связи и разработки математической модели, используемой для создания почвенной карты. Аналитические данные можно использовать не только для засоления, но и для составления карт других почвенных свойств (карбонатности, кислотности, гипсоносности и т.п.). На этом же этапе проводят оценку точности карты.

Обязательная информация, которая должна быть отражена на почвенно-солевой карте: название почв и процент участия их в пределах неоднородных контуров; характеристика засоленности почв в пределах неоднородных контуров (% участия засоленных почв,

характеристика засоления и запасы солей). В качестве иллюстрации приведена карта засоления, составленная М.В. Конюшковой на территорию Джаныбекского стационара (рис. 10).

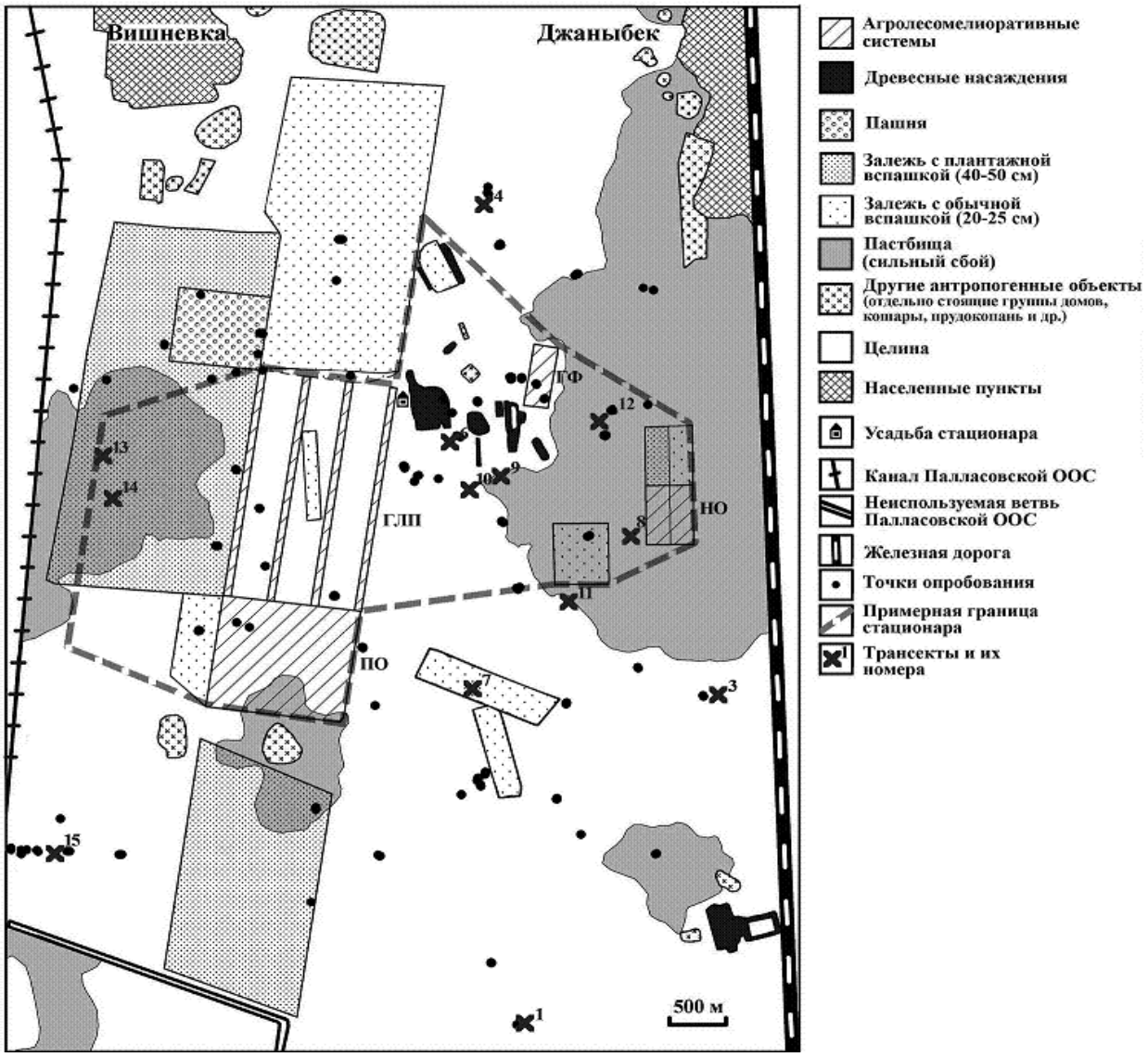

Рис. 8. Карта видов антропогенного воздействия в районе Джаныбекского стационара (по состоянию на 2006 г.). Условные обозначения: ГЛП – «Гослесополоса»; ПО – «Производственный опыт»; ГФ – «Госфонд»; НО – «Новый опыт». **Fig. 9.** The map of anthropogenic influence types in the Zhanybek station (in 2006). Legend: GLP – Goslesopolosa, PO – Proizvodstvenny opyt, GF – Gosfond, NO – Novyi opyt.

В результате проведенных работ и сопоставления данных дистанционного зондирования с полевыми исследованиями было доказано, что наиболее точно на снимках выделяются темноцветные почвы западин (по значениям NDVI), а классификация снимков на базе коэффициентов дискриминантного анализа позволяет создать карту неоднородности изображения для выделения других типов почв.

В заключение следует отметить, что разработанные подходы к цифровому картографированию почвенного покрова солонцовых комплексов Прикаспия, основанные на

анализе детальных космических снимков, проверяются на других объектах Прикаспийской низменности. Проводятся также работы по созданию методики картографирования по материалам космической съемки орошаемых почв.

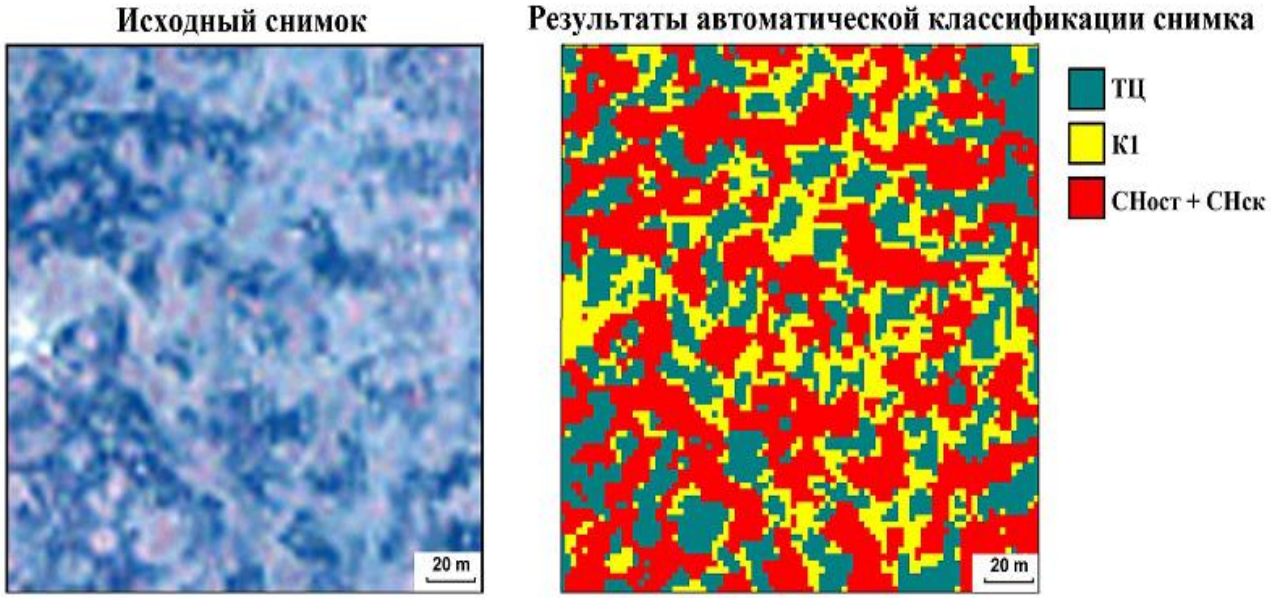

Рис. 9. Пример целины без перевыпаса и результатов классификации снимка (фрагмент). Условные обозначения: ТЦ – темноцветные незасоленные почвы; К1 – светло-каштановые почвы; СНост+СНск – остаточные (переходные к светло-каштановым солонцеватым почвам) солонцы и солонцы солончаковые. **Fig. 9.** An example of virgin soils without overgrazing and results of image's (fragment) classification. Legend: green – dark colored un-saline soils; yellow – light-chestnut soils; red – residual (transitioning to the light-chestnut solonetz soils) solonetzes and saliniferous solonetzes.

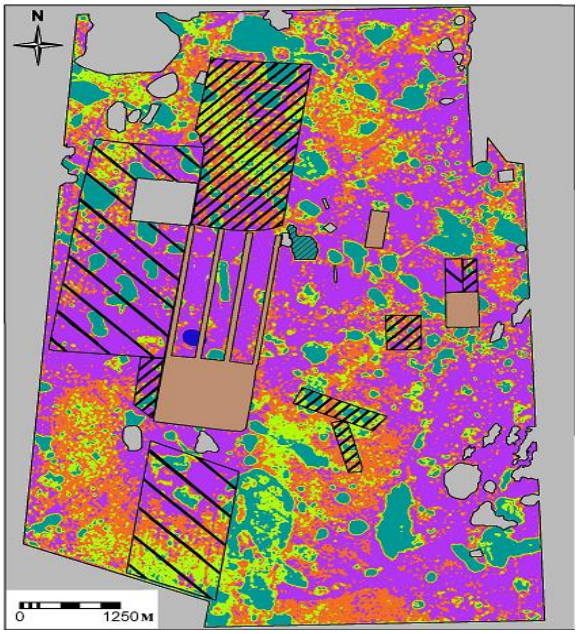

Рис. 10. Почвенно-солевая карта Джаныбекского стационара и его окрестностей. Условные обозначения к рисунку 10 смотри на следующей странице. **Fig. 10.** The map of soils and salinity of the Zhanybek station and its region. Legend to figure 10 see on the next page.

Продолжение подписи к рисунку 10. Условные обозначения.

Условные обозначения к почвенно-солевой карте района Джаныбекского стационара

(карта составлена на основе космического снимка Quickbird)

ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ[1]:

Элементарные почвенные ареалы:

- **ТЦ[2]**
- **Солодь**
- **Не определялось**

Почвенные комплексы:

- **ТЦ 50%, К1 10%, СН 40%**
- **ТЦ 25%, К1 25%, СН 50%**
- **ТЦ 10%, К1 40%, СН 50%**
- **Почвы без разделения (АЛМС)**

АГРОГЕННЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ:

- **Обычная вспашка (залежь)**
- **Плантажная вспашка (залежь)**
- **Агролесомелиоративные системы**

СТЕПЕНЬ ЗАСОЛЕНИЯ ВЕРХНЕГО МЕТРА ПОЧВ
(оцененная по медианным запасам токсичных солей; градации приведены в табл. 3.2 диссертации):

НЕКОМПЛЕКСНОЕ ЗАСОЛЕНИЕ:				ЗАПАСЫ[3]
	НЕЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ			0.4
	НЕЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ (СЛАБОЗАСОЛЕННЫЕ ВО ВТОРОМ МЕТРЕ) (ДЕНДРОПАРК, ЛИМАН СТАЦИОНАРА)			
КОМПЛЕКСНОЕ ЗАСОЛЕНИЕ С УЧАСТИЕМ СИЛЬНОЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ:				
	Процент участия почв разной степени засоления			
	НЕЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ	СЛАБОЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ	СРЕДНЕ- И СИЛЬНО-ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ	
	10	40	50	7.6
	25	25	50	7.4
	50	10	40	5.8
КОМПЛЕКСНОЕ ЗАСОЛЕНИЕ БЕЗ УЧАСТИЯ СИЛЬНОЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ:				
	10	90	-	2.4
	25	75	-	2.2
	50	50	-	1.6
	Без разделения по степени засоления (АЛМС)			<1.8

[1] Сокращения названий почв согласно табл. 2.3 диссертации.

[2] Практически все крупные ЭПА темноцветных почв были распаханы до 1950 г., затем заброшены (Роде, Польский, 1961).

[3] Средние (медианные) запасы токсичных солей в верхнем метре комплекса (или ЭПА) в целом, кг/м^2.

Заключение

1. Широкое развитие засоленных, в том числе засоленно-солонцовых почв юга Европейской России, а также активно протекающие процессы засоления-рассоления почв на фоне изменения климатических условий и антропогенного воздействия требуют обновления имеющихся данных о распространении и свойствах засоленных почв на основе современных методов исследования, в том числе основанных на материалах космической съемки. Эти сведения необходимы для учета площадей засоленных почв, а также проведения мониторинга, кадастровой и мелиоративной оценки засоленных почв.

2. Приведенный в статье обзор литературы показал, что проблема изучения засоленных почв крайне актуальна, о чем свидетельствуют многочисленные публикации, цитируемые в данной статье.

3. В методических рекомендациях, которые разрабатывают в Почвенном институте, усовершенствованы подходы и более четко изложены современные методы по оценке засоленности почв, а также рассмотрен пример картографирования засоленных почв на основе материалов космических съемок.

4. Рекомендации предназначены для специалистов, работающих в зоне распространения засоленных и солонцовых почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Базилевич Н.И., Панкова Е.И. 1968. Методические указания по учету засоленных почв. М.: Гипроводхоз. 91 с.

Базилевич Н.И., Панкова Е.И. 1972. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. Вып. 5 С. 36-49.

Воробьева Л.А. 1998. Химический анализ почв. Издательство МГУ. 272 с.

Воробьева Л.А., Замана С.П. 1984. Природа щелочности и методы ее определения // Почвоведение. № 5. С. 134-139.

Горохова И.Н. 1992. Оценка засоления орошаемых почв Нижнего Поволжья с использованием аэрофотоснимков. Автореферат диссертации на соискание … к.т.н. М.: Гипроводхоз. 25 с.

Горохова И.Н., Гаврилов В.И., Харитонов В.А. 1999. Многопараметрический компьютерный анализ в оценке засоления орошаемых почв на примере Волгоградской области // Почвоведение. № 5. С. 626-633.

Единый государственный реестр почвенных ресурсов России (версия 1). 2014. М.: Минсельхоз, Академия сельскохозяйственных наук. 759 с.

Засоленные почвы России. 2006. М.: ИКЦ «Академкнига». 854 с.

Карта типов химизма засоления почв СССР масштаба 1: 2500000. 1976. М.: ГУГК.

Карта засоления почв России (авторский макет). 2003.

Качественная характеристика и культуртехническое состояние земель Российской Федерации на 01.01.1996. 1980. М.: Наука. 262 с.

Классификация и диагностика почв СССР. 1977. М.: Колос. 223 с.

Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск: Ойкумена. 342 с.

Ковда В.А. 1946. Происхождение и режим засоленных почв. М.-Л.: Издательство АН СССР. Т. 1. 568 с.

Козловский Ф.И., Королюк Т.В. 1980. Применение оптико-структурного машинного анализа при детальном почвенно-мелиоративном картографировании // Почвоведение. № 3. С. 145-159.

Кондорская Н.И. 1965. Географическое распространение почв содового засоления в СССР //

Почвоведение. № 9. С. 10-16.

Конюшкова М.В. 2010. Картографирование почвенного покрова и засоленности почв солонцового комплекса на основе цифрового анализа космической съемки (на примере района Джаныбекского стационара) // Автореферат диссертации на соискание … к.с/х н. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 24 с.

Конюшкова М.В. 2014. Цифровое картографирование почв солонцовых комплексов Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК. 316 с.

Конюшкова М.В, Вышивкин А.А. 2009. Связь изображения на космических снимках Quickbird с растительностью, почвами и их засоленностью (Северный Прикаспий, район Джаныбекского стационара РАН) // Поволжский экологический журнал. № 1. С. 35-46. (доступ по ссылке http://www.sevin.ru/volecomag/issues/2009_1/PEJ_2009_1_35-46.pdf)

Копикова Л.П., Сколкин В.С. 1990. Оценка засоления почв по содержанию данных водных вытяжек и экстратов из водонасыщенных паст // Условия формирования и свойств трудномелиорируемых почв Джизакской степи. Сборник научных трудов. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. С. 74-81.

Ковда В.А. 2008. Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира. М.: Наука. 415 с.

Методические рекомендации по использованию аэрофотосъемки для оценки засоления почв и проведения солевых съемок орошаемых территорий хлопкосеющей зоны. 1985. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 73 с.

Методические рекомендации по мелиорации солонцов и учету засоленных почв. 1970. М.: Колос. 111 с.

Методика составления крупномасштабных почвенно-мелиоративных карт и карт солонцовых территорий. 1985 / Ред. Э.А. Корнблюм. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 95 с.

Минашина Н.Г. 1979. Рекомендации по мелиорации оценки, освоению и использованию гипсоносных почв под орошаемое земледелие. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 42 с.

Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. 1973. М.: Колос. 94 с.

Панкова Е.И., Айдаров И.П., Ямнова И.А., Новикова А.Ф., Благоволин Н.С. 1996. Природное и антропогенное засоление почв бассейна Аральского моря. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 187 с.

Панкова Е.И., Головина Н.Н., Венцкевич С.Д., Панадиади Е.А. 1986. Опыт оценки засоления почв орошаемых территорий Средней Азии по материалам космической съемки // Почвоведение. № 3. С. 138-146.

Панкова Е.И., Соловьев Д.А. 1993. Дистанционный мониторинг засоления орошаемых почв. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 191 с.

Панкова Е.И., Соловьев Д.А., Рухович Д.И., Савин И.Ю. 2016. Организация мониторинга засоления почв орошаемых территорий Центральной Азии с использованием данных дистанционного зондирования // Земельные ресурсы и продовольственная безопасность Центральной Азии и Закавказья / Ред. П.В. Красильников, М.В. Конюшкова, Р. Варгас. Рим: ФАО. С. 309-369.

Почвенная карта РСФСР, масштаб 1:2500000. 1988 / Ред. В.М. Фридланд. М.: ГУГК.

Почвенно-мелиоративная карта (авторский макет). Масштаб 1:500000. 1987. Союзводпроект.

Почвенные ресурсы России. 2010. М.: Геос. 122 с.

Руководство по описанию почв. 2012. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. Рим. 101 с.

Сабольч И. 1980. Процессы засоления и осолонцевания // Моделирование процессов

засоления и осолонцевания почв. М.: Наука. С. 9-36.

Симакова М.С. 1959. Методика картирования почв Прикаспийской низменности по материалам аэрофотосъемки // Почвенно-географические исследования и использование аэрофотосъемки в картографировании почв. М.: АН СССР. С. 283-357.

Составление крупномасштабных почвенных карт с показом структуры почвенного покрова. 1989 / Ред. Л.Л. Шишова // Методические рекомендации. М.: Колос. 56 с.

Хитров Н.Б. 2005. Связь почв солонцовых комплексов Северного Прикаспия с микрорельефом // Почвоведение. № 3. С. 271-284.

Хитров Н.Б. Понизовский А.А. 1990. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. М: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 236 с.

Хитров Н.Б., Рухович Д.И., Калинина Н.В., Новикова А.Ф., Панкова Е.И., Черноусенко Г.И. 2009. Оценка площадей засоленных почв на территории Европейской части России (по электронной версии карты засоления почв Масштаба 1: 2500000) // Почвоведение. № 6. С. 27-37.

Хитров Н.Б., Панкова Е.И., Новикова А.Ф., Черноусенко Г.И., Ямнова И.А. 2013. Теоретические и методические основы предотвращения вторичного засоления // Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. Т. 1. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН. С. 383-464.

Цифровая почвенная картография: сборник упражнений. 2017. М.: Издательство РУДН. 185 с.

Черноусенко Г.И., Калинина Н.И., Рухович Д.И. 2016. Опыт составления цифровой карты засоленных почв Тувы // Экосистемы центральной Азии: исследование, сохранение, рациональное использование. XIII Убсунурский международный симпозиум, Кызыл, 4-7 июля 2016 г. С. 139-142.

Abbas A., Khan S., Hussain N., Hanjra M.A., Akbar S. 2013. Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach // Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C. Vol. 55-57. Pp. 43-52.

Akramkhanov A., Brus D.J., Walvoort D.J.J. 2014. Geostatistical monitoring of soil salinity in Uzbekistan by repeated EMI survey // Geoderma. Vol. 213. Pp. 600-607.

Allbed A., Kumar L., Aldakheel Y.Y. 2014. Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications in a date palm dominated region // Geoderma. Vol. 230-231. Pp. 1-8.

Bouaziz M., Matschullat J., Gloaguen R. 2011. Improved remote sensing detection of soil salinity from a semi-arid climate in Northeast Brazil // Comptes Rendus Geoscience. Vol. 343. № 11-12. Pp. 795-803.

Corwin D.L., Kaffka S.R., Hopmans J.W., Mori Y., van Groenigen J.W., van Kessel C., Lesch S.M., Oster J.D. 2003. Assessment and field-scale mapping of soil quality properties of a saline-sodic soil // Geoderma. Vol. 114. № 3-4. Pp. 231–259.

Corwin D.L., Lesch S.M. 2005. Apparent soil electrical conductivity measure-ments in agriculture // Computers Electronics Agriculture. Vol. 46 № 1-3. Pp. 11-43. (access http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169904001243)

Corwin D.L., Lesch S.M. 2003.Application of soil electrical conductivity to pre-cision agriculture: theory, principles, and guidelines // Agronomy Journal. Vol. 95. № 3. Pp. 455-471.

Csillag F., Pasztor L., Biehl L.L. 1993. Spectral band selection for the characterization of salinity status of soils // Remote Sensing of Environments. Vol. 43 № 3. Pp. 231-242.

Douaoui A.E.K., Nicolas H., Walter C. 2006. Detecting salinity hazards within a semiarid context

by means of combining soil and remote-sensing data // Geoderma. Vol. 134. № 1-2. Pp. 217-230.

Fernández-Buces N., Siebe C., Cram S., Palacio J.L. 2006. Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: A case study in the former lake Texcoco, Mexico // Journal of Arid Environments. Vol. 65. № 4. Pp. 644-667.

Guo Y., Shi Z., Zhou L.-Q., Jin X., Tian Y.-F., Teng H.-F. 2013. Integrating remote sensing and proximal sensors for the detection of soil moisture and salinity variability in coastal areas // Journal of Integrative Agriculture. Vol. 12. № 4. Pp. 723-731.

Indo-Dutch Network Project (IDNP). Result #1. 2002. A Methodology for Identification of Waterlogging and Soil Salinity Conditions Using Remote Sensing. CSSRI, Karnal and Alterra, ILRI, Wageningen. Pp. 78.

Metternicht G.I., Zinck J.A. 2003. Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints // Remote Sensing Environment. Vol. 85. № 1. Pp. 1-20.

Mougenot B., Pouget M., Eperma G. 1993. Remote sensing of salt-affected soils // Remote Sensing Reviews. Vol. 7. Pp. 241-259.

Pankova Je.I., Aidarov I.P. 2010. Secondary Salinization of Soils in the Aral Basinas a Factor of Anthropogenic Desertification // Nova Science Publishers. Inc. New-York. Vol. 2. Pp. 189-216.

Rao B., Sankar T., Dwivedi R., Thammappa S., Venkataratnam L., Sharma R., Das S. 1995. Spectral behaviour of salt-affected soils // International Journal of Remote Sensing. Vol. 16. Pp. 2125-2136.

Richards L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA. Agriculture Handbook. № 60. 160 p.

Szabolcs I. 1989. Salt affected soils. Florida: CRC Press Inc. 274 p.

Soil salinity assessment methods and interpretation of electrical conductivity measurements. 1999. Rome: FAO. 150 p.

Soil survey investigation for irrigation. 1979 // FAO Soil Bulletin, Rome: FAO. Vol. 42. 188 p.

Soil Survey Laboratory Methods Manual. 2004 // Soil Survey investigation Report. № 42. Version 4.0. November, 2004. 700 p.

Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. 1999 // FAO Irrigation and Drainage Paper. № 57. Rome: FAO. 150 p.

Toth T., Csillag F., Biehl L.L., Micheli E. 1991. Characterization of semivegetated salt-affected soils by means of field remote sensing // Remote Sensing of Environment. Vol. 37. № 3. Pp. 167-180.

Toth T., Pasztor L. 1996. Field reflectance measurements as means of distinguishing vegetation and different grades of salt concentration in the Hortobagy alkali grassland // Soil Salinization and Alkalization in Europe / Eds.: N. Misopolinos, I. Szabolcs. ESSC Editions, Thessaloniki. Pp. 23-36.

Triantafilis J., Monteiro Santos F.A. 2013. Electromagnetic conductivity imaging (EMCI) of soil using a DUALEM-421 and inversion modeling software (EM4Soil) // Geoderma. Vol. 211-212. Pp. 28-38.

Wiegand C.L., Rhoades J.D., Escobar D.E., Everitt J.H. 1994. Photographic and videographic observations for determining and mapping the response of cotton to soil salinity // Remote Sensing of Environment. Vol. 49. № 3. Pp. 212-223.

Zhang M., Ustin S.L., Rejmankova E., Sanderson E.W. 1997. Monitoring Pacific coast salt marshes using remote sensing // Ecological Applications. Vol. 7. № 3. Pp. 1039-1053.

Zhang T.-T., Zeng S.-L., Gao Y., Ouyang Z.-T., Li B., Fang C.-M., Zhao B. 2011. Using hyperspectral vegetation indices as a proxy to monitor soil salinity // Ecological Indicators. Vol. 11. Pp. 1552-1562.

ON THE PROBLEM OF SOIL SALINITY'S EVALUATION AND METHOD OF LARGE-SCALE DIGITAL MAPPING OF SALINE SOILS

© 2017. E.I. Pankova, M.V. Konyushkova, I.N. Gorokhova

V.V. Dokuchaev Soil Science Institute
Russia, 119017, Moscow, Pyzhevskiy Lane, 7, Building 2. E-mail: pankova_ei@esoil.ru

The article presents the problem of soils salinity's evaluation and mapping. The salinity is a parameter, which limits soils' richness and determines their ecological condition. The saline soils and saline solonetzes occupy about 20% of Russian agricultural grounds' area, and more than 40-50% in some regions, such as Kalmykia, Novosibirsk Oblast and Dagestan. It's a dynamical process which requires constant control and record. There are presented the list of literature, related to soil salinity's evaluation, to the methods, which are used in Russia and some other countries, and to the soils' mapping with usage of satellite imagery and its digital processing. We have explored the foreign practices of field diagnostic of soil salinity and digital mapping, as well as the Russian scientist's experience of creating a large-scale map of soil-salinity, based on the satellite imagery of high quality (Zhanybek station in the Caspian Depression is taken as an example). We are showing some possibilities of modern mapping of solonetz complexes. The work's aim is to improve the methods of assessment and mapping in order to calculate the area of saline soils extension.
Keywords: saline soils, solonetz and solonetz complexes, mapping of soils, evaluation of soil salinity.